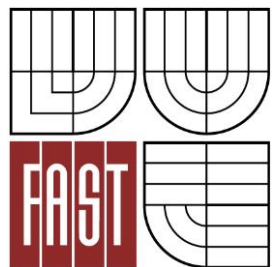




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

TEPLOTNĚ-VLHKOSTNÍ POSOUZENÍ PRVKŮ KROVU S NADKROKEVNÍM SYSTÉMEM ZATEPLENÍ

TEMPERATURE-MOISTURE ASSESSMENT OF MEMBERS IN TRUSS WITH ABOVE-RAFTER
THERMAL INSULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

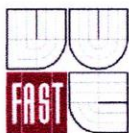
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL SOUDEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUBOR KALOUSEK, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště Ústav pozemního stavitelství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. PAVEL SOUDEK

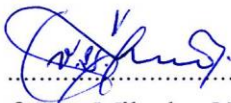
Název Teplotně-vlhkostní posouzení prvků krovu s nadkroevním systémem zateplení

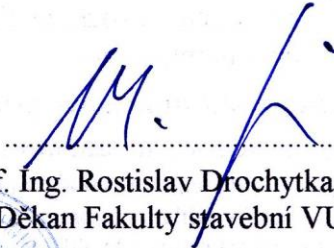
Vedoucí diplomové práce Ing. Lubor Kalousek, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2013

Datum odevzdání diplomové práce 17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013


prof. Ing. Miloslav Novotný, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

- směrnice děkana č. 19/2011 a dodatky;
- odborná literatura, katalogy, příp. další podklady;
- platné legislativní a normativní předpisy: zákon č. 350/2012 Sb., kterým se mění zákon č. 183/2006 Sb. (Stavební zákon), vyhláška č. 62/2013 Sb., kterou se mění vyhláška č. 499/2006 Sb., vyhláška č. 268/2009 Sb., vyhláška č. 398/2009 Sb., vyhláška č. 501/2006 Sb. – ve znění pozdějších předpisů, platné ČSN.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Zadání VŠKP: teoretická diplomová práce zaměřená na problematiku teplotně-vlhkostního posouzení prvků krovu s nadkroevním systémem zateplení v návaznosti na výpočetní model a skutečné měření provedené na vybraném objektu.

Cíl práce: konkrétní cíle diplomové práce budou stanoveny na základě uznané semestrální práce z předmětu CH08 Diplomový seminář I.

Zásady zpracování teoretické diplomové práce:

- textové a výpočtové přílohy budou napsány výpočetní technikou;
- výkresy budou zpracovány na bílém papíře s využitím výpočetní techniky, opatřeny jednotným popisovým polem (razítkem) a k obhajobě budou předloženy složené do příslušných desek velikosti A4 nebo zavázané do textové části;
- desky budou z tvrdého papíru potažené černým plátnem se zlatým písmem;
- rozsah textové části 60 až 80 normostran A4 + přílohy.

Požadované výstupy: Textová část VŠKP - bude mimo jiné obsahovat: titulní list, zadání VŠKP, doklady od vedoucího diplomové práce, abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce, bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690, prohlášení autora o původnosti práce, podpis autora, poděkování (nepovinné), obsah, úvod, vlastní text práce: současný stav řešené problematiky, cíle diplomové práce, zvolené metody zpracování, výsledky diplomové práce s uvedením zjištěných poznatků, seznam použitých zdrojů, seznam použitých zkratk a symbolů, seznam příloh.

Přílohy diplomové práce budou obsahovat: přípravné práce a studie, textovou část technického popisu (technická zpráva), výsledky měření nebo výsledky provedených průzkumů, výkresová část v rozsahu dle zadání vedoucího práce, specializace v rozsahu dle zadání vedoucího diplomové práce.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Lubor Kalousek, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato práce se zabývá teplotně-vlhkostním posouzením dřevěných prvků u střech s nadkroevním systémem zateplení. V rámci tohoto systému se pak zaměřuje především na detaily vytvoření přesahu střechy, neboť právě zde dochází k největšímu vlhkostnímu namáhání dřevěných prvků. V práci jsou popsány různé varianty provedení tohoto detailu, u kterých je následně ověřováno splnění tepelně-technických požadavků a požadavků kladených na dřevo zabudované v konstrukci. Teoretické výpočty jsou pak porovnávány s měřením, které bylo prováděno na reálné stavbě. Pro toto měření bylo vyvinuto vlastní měřicí zařízení. Jeho vývoj je rovněž popsán v této práci.

Klíčová slova

Nadkroevní systém zateplení střech, přesah střechy, rovnovážná vlhkost dřeva, Hailwood-Horrobinova rovnice, Cube3D, měření vlhkosti dřeva, odporová metoda, gravimetrická metoda.

Abstract

This thesis deals with the temperature-moisture assessment of members in truss with above-rafter thermal insulation. Within this system it focuses on the details of creating a roof overhang because that is where the timber elements are under the greatest amount of moisture stress. Different variations of this detail are presented including the extent to which thermo-technical requirements and requirements surrounding the built-in timber elements are satisfied. Theoretical calculations are then compared with measurements which were performed on a real building. This task of measurement involved developing a new measuring device. The development of this device is also described in this paper.

Keywords

Truss with above-rafter thermal insulation, roof overhang, equilibrium moisture content of wood, Hailwood-Horrobin equation, Cube3D, wood moisture measuring, resistance method, gravimetric analysis.

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Pavel Soudek *Teplotně-vlhkostní posouzení prvků krovu s nadkroevním systémem zateplení*. Brno, 2013. 67 s., 79 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Lubor Kalousek, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2014

.....

podpis autora

Bc. Pavel Soudek

Poděkování

Mé upřímné poděkování patří Ing. Luboru Kalouskovi, Ph.D. a Ing. Antonínu Žákovi, Ph.D. za jejich cenné rady a připomínky a za jejich pozornost, kterou mé práci věnovali. Dále bych rád poděkoval Ing. Jindřichu Mikuškovi a jeho ženě, kteří mi umožnili měření na jejich domě a společnosti Dektrade a.s., která mi pro toho měření poskytla veškerou měřicí techniku.

Obsah:

1.	ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	9
1.1	Požadavky na střechy	9
1.2	Vrstvy šikmé střechy	16
1.3	Základní skladby	17
1.3.1	Zateplení střech mezi krokvemi	17
1.3.2	Zateplení střech mezi a pod krokvemi	18
1.3.3	Zateplení nad krokvemi pomocí měkké tepelné izolace	19
1.3.4	Zateplení nad krokvemi pomocí tuhé tepelné izolace	20
1.4	Slabá místa nadkrokevního systému zateplení s tuhou TI	21
1.4.1	Vytvoření přesahu pomocí průběžné krokve	21
1.4.2	Vytvoření přesahu pomocí krokevního námětku	22
1.5	Dřevěné prvky v konstrukci střechy	23
1.5.1	Vlastnosti dřeva	23
1.5.2	Vlhkost dřeva a způsoby jejího měření	24
1.5.3	Požadavky na zabudování dřevěných prvků	26
1.5.4	Ochrana dřeva	27
2.	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	29
2.1	Vytvoření výpočetního modelu	29
2.2	Tepelně-vlhkostní posouzení vybraných detailů	29
2.3	Měření na reálné stavbě	30
2.4	Konstrukce vlastního zařízení na měření vlhkosti dřeva	30
2.5	Porovnání teoreticky získaných výsledků s praktickým měřením	30
3.	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	31
3.1	Vytvoření výpočetního modelu	31
3.1.1	Cube3D	31
3.1.2	Vliv zjednodušení geometrie	33

3.2	Tepelně-vlhkostní posouzení vybraných detailů	34
3.3	Měření na reálné stavbě	37
3.3.1	Popis objektu	37
3.3.2	Vybraný detail	38
3.3.3	Měřicí technika	38
3.4	Konstrukce vlastního měřicího zařízení	39
3.5	Porovnání teoreticky získaných výsledků s praktickým měřením	39
4.	VÝSLEDKY DIPLOMOVÉ PRÁCE	41
4.1	Výpočetní model	41
4.2	Tepelně-vlhkostní posouzení	42
4.2.1	Detail s průběžnou krokví	44
4.2.2	Detail s krokevním námětkem	46
4.2.3	Detail s dvojitým krokevním námětkem	48
4.3	Měření na reálné stavbě	50
4.4	Konstrukce vlastního měřicího zařízení	53
4.4.1	Zkoušky měření vytvořeného měřicího zařízení	55
4.5	Porovnání teoreticky získaných výsledků s praktickým měřením	57
4.5.1	Porovnání povrchových teplot	57
4.5.2	Porovnání vlhkosti dřevěných prvků	59
5.	ZÁVĚR	62
5.1	Shrnutí poznatků	62
5.2	Možnosti dalšího zkoumání	63
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	64
7.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	66
8.	SEZNAM PŘÍLOH	67
9.	PŘÍLOHY	68

1. ÚVOD DO ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Střechy jsou od nepaměti nedílnou součástí lidských přístřešků, která chrání zbytek stavby před povětrnostními vlivy. V současné době existuje velké množství různých typů střech, které lze dělit podle tvaru, sklonu, počtu větraných vrstev a mnoha dalších kritérií. Tato dělení je možné najít téměř v každé literatuře zabývající se střechami, tudíž zde nebudou podrobněji probírány. Cílem této kapitoly je nastínění požadavků kladených na střešní konstrukci, popsání skladby střešního pláště, které z těchto požadavků vychází a podrobný výpis jednotlivých vrstev skladby. Dále pak budou podrobněji představeny nejpoužívanější skladby šikmých střech, které se navrhuji v současné době nebo se navrhovaly v několika posledních desetiletích. Druhá část kapitoly je už zaměřena pouze na nadkroevní systém zateplení provedený pomocí tuhé tepelné izolace. Zde budou kromě výhod popsány především detaily, které jsou slabými místy tohoto systému. Jedná se zejména o vytvoření přesahu střešní roviny přes obvodovou stěnu. Ten může být proveden, stejně jako u ostatních systémů, průběžnou krokvi nebo se zde může využít kroevního námětku. Obě tyto varianty tvoří jednak určité tepelné mosty, které budou v dalších kapitolách posuzovány, a jednak jsou to dřevěné prvky, které jsou zabudované v konstrukci. To s sebou nese vždy určitá rizika s ohledem na jejich vlhkostní stav. O tom, jaká rizika jsou spojena s nadměrnou vlhkostí dřeva, pojednává závěrečná část této kapitoly.

1.1 Požadavky na střechy

Střecha, jak uvádí ČSN 73 1901 (2011), je konstrukce, která chrání podstřešní prostory před vlivy povětrnosti [1]. Tato zdánlivě jednoduchá definice klade na střešní konstrukci hned několik požadavků, které jsou většinou závislé na využití podstřešních prostor. V minulosti, kdy se podstřešní prostory obytných budov využívaly pouze jako prostory skladovací nebo se nevyužívaly vůbec, bylo požadováno pouze zamezení průniku dešťových a sněhových srážek do objektu. Dokonce i v případě, že k nějakým menším průnikům došlo, tak to nebyl tak závažný problém, protože zateklá voda se později neměla problém odpařit. Takovéto skladby, které byly tvořeny různými druhy skládaných krytin na latě či bednění, nahradily koncem minulého století mnohem složitější skladby střešních plášťů. Bylo to dáno tím, že se v rámci maximalizace podlahové plochy začaly pro bydlení využívat i podstřešní prostory. Tento trend pokračuje i v současné době a nejspíš tomu tak bude i v budoucnu. Proto se musí skladby střešních plášťů navrhovat tak, aby se zajistila mimo jiné i dobrá kvalita vnitřního

prostředí v podkrovních místnostech. ČSN 73 1901(2011) uvádí požadavky na střešní konstrukce, z nichž pro šikmé střechy platí následující:

Mechanická stabilita a odolnost

„Střešní konstrukce musí být navržena na hodnoty zatížení stanovené příslušnými normami.¹ Její jednotlivé vrstvy a části se navrhují tak, aby odolávaly zatížení od vlastní tíhy, popř. hmotnosti nadložních vrstev, zatížení od konstrukcí a zařízení na střeše, zatížení sněhem a jeho pohybem, zatížení vodou a ledem, zatížení od tlaku i sání větru, zatížení od teploty i zatížení provozem a údržbou. Průhyby a jiné změny tvaru a rozměrů konstrukcí způsobené mechanickým zatížením střech, teplotními, tvarovými a objemovými změnami vrstev střech nesmí nepříznivým způsobem ovlivnit funkci střechy ani v ploše ani v návaznosti na související konstrukce. Průhyby nesmí překročit požadavky stanovené pro tyto konstrukce. Žádné ze zatížení nesmí vést ke ztrátě funkce, poškození, snížení trvanlivosti nebo spolehlivosti střechy, její jednotlivé vrstvy nebo části“ [1].

Požární bezpečnost

„Požadavky na střechy z hlediska požární bezpečnosti staveb jsou uvedeny v ČSN 73 0802, ČSN 73 0804, ČSN 73 0810 a normách řady ČSN 73 08xx, popř. příslušných právních předpisech.² Střecha musí vyhovět působení požáru shora a působení požáru zdola. v požárně nebezpečném prostoru (působení požáru shora) se posoudí podle článku 8.3 a 8.4 v ČSN 73 0810:2009. Kromě těchto požadavků mohou být u střech nebo jejich částí požadovány požárně technické vlastnosti s ohledem na odkapávání hmot z podhledů stropů a střech (podle ČSN 73 0865) nebo třídu reakce na oheň (podle ČSN EN 13501-5+A1)“ [1].

Požadavky na hydroizolační vlastnosti střech

„Střecha musí zabraňovat vnikání vody do konstrukce stavby a musí se navrhovat tak, aby nepropouštěla vodu ani do chráněných konstrukcí ani na svůj dolní povrch ani do podstřešních prostor. Podrobnosti o zatížení vodou a o jejích zdrojích jsou v ČSN 73 0600 a v kapitole 7 ČSN 73 1901“ [1].

Odvodnění střech

„Střechy musí zachycovat a odvádět srážkové vody, sníh a led. Požaduje se, aby voda byla ze střechy odváděna odvodňovacím systémem. Nepůsobí-li voda škody na objektu nebo okolí, přípouští se odvodnění okapem na terén, kde se voda zpravidla jímá a odvádí.

¹ Viz vyhláška 268/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů

² Např. vyhláška č. 23/2008 Sb.

V případě, že je střecha odvodněna na terén, musí být odvodnění střechy spolehlivě napojeno na navazující terénní úpravy a systém odvedení vody od objektu navržen tak, aby nebyly vodou poškozeny související konstrukce (podzemní části objektu, oblast soklu, fasáda apod.). Voda ze střechy nesmí stékat na vnější povrch chráněných svislých konstrukcí a voda z konstrukcí nad úrovní střechy (krytí atik, střechy strojoven výtahů, střechy technologických zařízení umístěných na střeše) nesmí stékat na střechou chráněné povrchy a konstrukce. Sklon odvodňovaných povrchů konstrukcí nad úrovní střechy a koncepce okrajových detailů musí být taková, aby voda spolehlivě stékala na střechu (aby např. působením větru nepřetékala na fasádu)“ [1].

Vlhkostní stav a režim střech

„Vlhkostní stav a režim střechy musí být takový, aby nedocházelo ke změnám materiálů, vrstev a konstrukce střechy vyvolaných vlhkostí (např. pokles pevnosti, zvýšení hmotnosti, objemové změny, snížení tepelněizolačních vlastností střechy, korozní jevy apod.), které by ohrozily funkce střechy. Skladba a konstrukce střechy musí splňovat požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí uvedené v ČSN 73 0540-2“ [1]. Ty se týkají maximálního možného množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce a její roční bilance. Tato bilance musí být kladná, což znamená, že vypařitelné množství vodní páry je větší než množství, které zde může během roku zkondenzovat. Jak je ale ve výše zmiňované normě uvedeno: „Pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce M_c , v $\text{kg}/(\text{m}^2\text{a})$, mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce“ [2]. V případě, že k ohrožení funkce konstrukce nedojde, platí limity uvedené v kapitole 6.1.2 této normy:

$$M_c \leq M_{c,N} \quad (1)$$

„Pro jednovrstevnou střechu, konstrukci se zabudovanými dřevěnými prvky, konstrukci s vnějším zateplovacím systémem nebo vnějším obkladem, popř. jinou obvodovou konstrukci s difúzně málo propustnými vnějšími povrchovými vrstvami, je nižší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (2)$$

nebo 3% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li objemová hmotnost vyšší než $100 \text{ kg}/\text{m}^3$; pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg}/\text{m}^3$ se použije 6% jeho plošné hmotnosti; pro ostatní stavební konstrukce je nižší z hodnot:

$$M_{c,N} = 0,50 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (3)$$

nebo 5% plošné hmotnosti materiálu, ve kterém dochází ke kondenzaci vodní páry, je-li objemová hmotnost vyšší než 100 kg/m^3 ; pro materiál s objemovou hmotností $\rho \leq 100 \text{ kg/m}^3$ se použije 10% jeho plošné hmotnosti.“ [2]

Současně je ale nutné brát ohled na zabudované dřevěné prvky. Pravidla pro jejich zabudování do konstrukce budou podrobněji probrána v kapitole 1.5.

„Při opravách a rekonstrukcích musí být vlhkostní stav střechy posouzen s přihlédnutím ke skutečnému obsahu vody v konstrukcích. Při rekonstrukcích musí být zjištěn obsah vody a skutečné materiálové a konstrukční provedení přiměřeným počtem a rozmístěním sond“ [1].

Ochrana životního prostředí

„K ochraně životního prostředí přispívají střechy navržené tak, aby umožnily akumulaci a využití srážkových vod ve vrstvách nad vodotěsnicí konstrukcí. Střecha a její konstrukce mají být navrženy z hlediska ekonomiky, udržitelného rozvoje a ochrany životního prostředí. Při návrhu střechy je třeba zohlednit požadavky na ochranu vnitřního prostředí před nežádoucími účinky sluneční radiace“ [1].

Ochrana proti hluku

„Střechy musí splňovat požadavky stavební akustiky dané normovými hodnotami. Požadavky na vlastnosti obalových konstrukcí jsou uvedeny v ČSN 73 0532“ [1].

Bezpečnost při užívání

„Na střechu musí být zajištěn bezpečný přístup podle účelu. Není-li jiný požadavek, musí být umožněn přístup pro provádění kontroly a údržby střechy i zařízení umístěných na střeše. Konstrukce a prvky určené pro pohyb osob na střeše musejí umožňovat bezpečnou a stabilní oporu pro pohyb osob a musí umožňovat dostatečné zapření pracovníka při výkonu montážních prací za klimatických podmínek stanovených provozním řádem. Konstrukce střechy musí umožnit osazení, kontrolu a údržbu zařízení na ochranu před bleskem. Střechy musí odvádět vodu, sníh a led tak, aby neohrožovaly chodce a účastníky silničního provozu. Nelze-li zajistit, aby sníh a led nepadal ze střechy, musí být kolem objektů v místech, kam sníh nebo led může padat, vymezen označený ochranný prostor v období roku, kdy pád sněhu a ledu hrozí a umožněna akumulace sněhu a ledu. Toto opatření musí být v souladu se zájmy majitele pozemku nebo správce komunikace“ [1].

Úspora energie a tepelná ochrana

„Střešní konstrukce musí splňovat požadavky na šíření tepla, šíření vodní páry a šíření vzduchu konstrukcemi dané normovými hodnotami. Požadavky na šíření tepla jsou v ČSN 73 0540-2 stanoveny požadavky na hodnotu *součinitele prostupu tepla* a požadavkem na *nulovou průvzdušnost*“ [1].

V kapitole 5.2.1 ČSN 73 0540-2 se píše, že konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60\%$ součinitel prostupu tepla U , ve $W/(m^2K)$ takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N \quad (4)$$

U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla, ve $W/(m^2K)$, kterou pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu $18^\circ C$ až $20^\circ C$ včetně a pro všechny návrhové venkovní teploty udává Tabulka 1.

Pro budovy s odlišnou převažující návrhovou teplotou se U_N stanoví dle vztahu:

$$U_N = U_{N,20} * e_1 \quad (5)$$

$U_{N,20}$ je součinitel prostupu tepla z tabulky 1, ve $W/(m^2K)$;

e_1 součinitel typu budovy, který se vypočte ze vztahu: $e_1 = 16/(\theta_{im} - 4)$;

θ_{im} převažující návrhová vnitřní teplota.

Tabulka 1 – Požadavky na součinitel prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou teplotou θ_{im} v intervalu $18^\circ C$ až $20^\circ C$ včetně. (Výňatek z tab. 3 normy ČSN 73 0540-2, str. 13)

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$W/(m^2K)$]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Dop. hodnoty pro pasivní domy $U_{pas,20}$
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 - 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 - 0,10

Pro konstrukce vytápěných budov s relativní návrhovou vlhkostí $\varphi_i > 60\%$ se požadovaná hodnota U_N stanoví jako nižší z hodnot, z nichž první je získána postupem uvedeným výše a druhá výpočtem pro zvýšenou vlhkost prostředí:

$$U_{\omega, N} = \frac{0,6(\theta_{ai} - \theta_{\omega})}{R_{si}(\theta_{ai} - \theta_e)} \quad (6)$$

θ_{ai} je návrhová teplota vnitřního vzduchu podle ČSN 73 0540-3, ve °C;

θ_e návrhová teplota venkovního vzduchu podle ČSN 73 0540-3, ve °C;

θ_{ω} teplota rosného bodu dle ČSN 73 0540-3, ve °C;

R_{si} odpor při přestupu tepla, ve (m²K/W). Podle ČSN EN ISO 13788 se uvažuje pro výplně otvorů $R_{si}=0,13(\text{m}^2\text{K/W})$, pro stavební konstrukce $R_{si}=0,25(\text{m}^2\text{K/W})$.

Speciálními případy jsou lineární a bodový součinitel prostupu tepla Ψ , ve W/(mK), a χ , ve W/K, tepelných vazeb mezi konstrukcemi. Oba musí splňovat podmínku uvedenou v ČSN 730240-2:

$$\Psi \leq \Psi_N \quad (7)$$

$$\chi \leq \chi_N \quad (8)$$

Ψ_N, χ_N požadované hodnoty lineárního a bodového součinitele prostupu tepla, podle tabulky 6 uvedené v ČSN 73 0540-2, str. 19.

Tabulka 2 – Požadované a doporučené hodnoty lineárního a bodového součinitele prostupu tepla tepelných vazeb mezi konstrukcemi. (Výňatek z tabulky 6 uvedené v ČSN 73 0540-2, str. 19.)

Typ bodové tepelné vazby	Lineární činitel prostupu tepla [W/(mK)]		
	Požadované hodnoty Ψ_N	Doporučené hodnoty Ψ_{rec}	Dop. hodnoty pro pasivní domy Ψ_{pas}
Vnější stěna navazující na další konstrukci s výjimkou výplně otvoru, např. na základ, strop nad nevyt. prostorem, jinou vnější stěnu, střechu, lodžii či balkon, aj.	0,20	0,10	0,05
Typ bodové tepelné vazby	Bodový činitel prostupu tepla [W/K]		
	χ_N	χ_{rec}	χ_{pas}
Průnik tyčové konstrukce (sloupy, nosníky, konzoly, apod.) vnější stěnou, podhledem nebo střechou	0,4	0,1	0,02

Dále je v ČSN 73 0540-2 uveden požadavek na minimální hodnotu vnitřní povrchové teploty, který ještě upravuje změna normy ČSN 73 0540-2 Změna-Z1. Udává se zde, že konstrukce a styky konstrukcí v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60\%$ musí v zimním období za normových podmínek vykazovat v každém místě takovou vnitřní povrchovou teplotu, aby odpovídající faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} , bezrozměrný, splňoval podmínku:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (9)$$

$f_{Rsi,N}$ je požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu, který se rovná kritickému teplotnímu faktoru, $f_{Rsi,cr}$ [3];

$f_{Rsi,cr}$ kritický teplotní faktor, při kterém by vnitřní vzduch s návrhovou relativní vlhkostí φ_i dosáhl u vnitřního povrchu kritické vnitřní povrchové vlhkosti $\varphi_{si,cr}$, tedy vlhkosti vzduchu bezprostředně při vnitřním povrchu stavební konstrukce, která nesmí být pro danou konstrukci překročena, $\varphi_{si,cr} = 80\%$ (riziko růstu plísní). [3]

Vlastní výpočet f_{Rsi} a $f_{Rsi,cr}$ viz kapitola 5.1.1 a 5.1.4 ČSN 730540-2. Pokud by relativní vlhkost místnosti byla vyšší než 60% nutno postupovat podle kapitoly 5.1.2 ČSN 730540-2 upraveným změnou Z1 této normy.

Trvanlivost a spolehlivost střech

„Trvanlivost střechy stanovuje investor. Nosná konstrukce střechy má mít obvykle stejnou trvanlivost jako nosná konstrukce stavby. Trvanlivost ostatních vrstev a prvků střechy má být v souladu se zamýšlenými cykly obnovy nebo cykly změn některých vlastností těchto vrstev a prvků. S nejnižší trvanlivostí je třeba počítat zejména u prvků střech, jejichž funkce je závislá na nátěru či trvanlivosti tmelených spojů. Vrstvy a prvky střechy, které mají být obnovovány v průběhu užívání, musí být přístupné anebo musejí mít takovou trvanlivost jako konstrukce, které je zakrývají. Spolehlivost střech musí odpovídat charakteru chráněných prostor a stavby“ [1].

1.2 Vrstvy šikmé střechy

V závislosti na požadavcích uvedených v předchozí kapitole je jasné, že skladba šikmé střechy se musí skládat hned z několika různých vrstev, aby bylo možné těmto požadavkům vyhovět. Přehled základních vrstev, jejich funkcí a příklad jejich materiálového řešení uvádí Tabulka 3. Není vyloučeno, že jedna vrstva střešního pláště může zastávat více funkcí naráz, naopak je toho s výhodou využíváno.

Tabulka 3 – Přehled vrstev šikmé střechy

Název vrstvy	Funkce vrstvy	Příklad provedení ³
Nosná	Přenesení zatížení od ostatních vrstev střešního pláště a od povětrnostního namáhání do svislých nosných konstrukcí	Tradiční dřevěný krov+ laťování nebo bednění, Příhradové vazníky
Hlavní vodotěsnící ⁴ (hydroizolační)	Zamezení pronikání atmosférických srážek do podstřešních prostorů a do dalších vrstev střešního pláště	Střešní tašky betonové, pálené, Hladká plechová krytina, Přírodní břidlice, Vláknocementové desky
Doplňková vodotěsnící (hydroizolační)	Pojistná vrstva. Odvádí vodu, která pronikne přes hlavní vodotěsnící vrstvu.	Fólie lehkého typu, Asfaltový pás
Tepelněizolační	Výrazně omezuje prostup tepla vedením skrz střešní plášť.	Minerální vata, PIR, EPS, XPS, PUR, Foukané tepelné izolace
Parotěsnící	Podstatně omezuje pronikání vodní páry do skladby střešního pláště (většinou z interiéru) ⁵	Asfaltový pás, Fólie lehkého typu
Vzduchotěsnící	Zabraňuje výměně vzduchu mezi interiérem a exteriérem (popř. VVV)	2x Fólie lehkého typu, Asfaltový pás
Větraná vzduchová	Odvádí z konstrukce vodní páru dříve, než tu zkondenzuje	Obvykle vytvořena mezi dřevěnými prvky (latě, krokve)
Podhledová	Estetická, protipožární nebo například akustická funkce	Sádrokartonový podhled

³ Výčet příkladů uvedených v tabulce není konečný, jedná se vždy pouze o několik vybraných možností řešení.

⁴ Název dle terminologie z ČSN 73 1901 (2011) – ve skutečnosti je většinou vrstva nepropustná pouze pro volně stékající vodu.

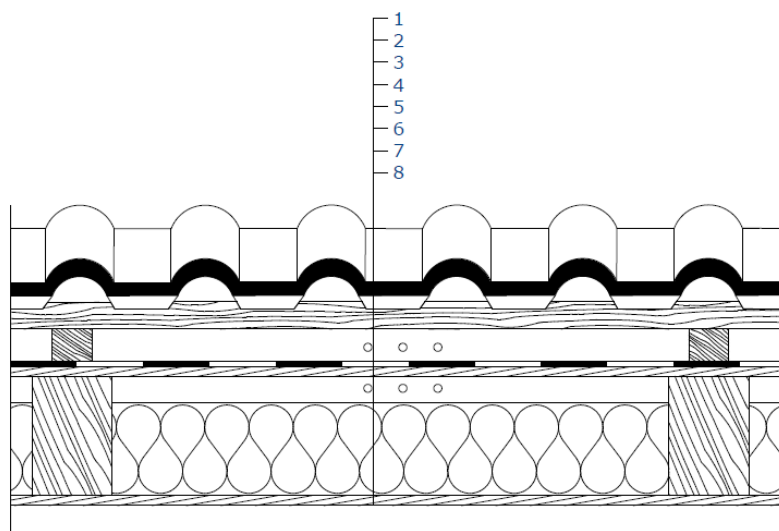
⁵ Platí pro naše klimatické podmínky a obvyklé hodnoty vnitřního prostředí. V určitých případech může docházet k obrácenému difúznímu toku, pak se parotěsnící vrstva může umísťovat i ze strany exteriéru.

1.3 Základní skladby

V průběhu let se vyvinulo několik různých skladeb, které více či méně splňují požadavky, které jsou na ně kladeny. Tyto skladby se dělí jednak podle polohy tepelné izolace vůči nosné konstrukci střechy, kterou je obvykle dřevěný krov a jednak podle počtu větraných vzduchových vrstev. Kombinací a druhů skladeb je v současné době velké množství. Podrobný popis, výhody a nevýhody čtyř nejčastěji, ať už v minulosti nebo v současné době prováděných skladeb, je uveden níže.

1.3.1 Zateplení střech mezi krokvemi

V prvních zateplených skladbách šikmých střech se vrstva tepelné izolace vkládala do prostoru mezi krokvě. Obvykle měla menší tloušťku, než byla výška krokví, takže v úrovni nad vrstvou telené izolace a pod doplňkovou vodotěsnicí vrstvou⁶ vznikla větraná vzduchová vrstva. Ta zde byla nutná, protože DVV byla difuzně uzavřená nebo byla jen částečně difuzně propustná. Tvořil ji asfaltový pás nebo polodifúzní kontaktní fólie lehkého typu na dřevěném bednění. V prostoru kontralatí se pak vytvořila druhá vzduchová vrstva pro odvod zateklé nebo zkondenzované vody. Vznikla tak tříplášťová střecha, jejíž skladba je vykreslena na Obr. 1. Alternativou byla skladba bez bednění pod DVV. Zde je možné použít i mikroperforované nekontaktní fólie, se kterými ale může být dosaženo pouze třídy těsnosti PHI 1.



Obr. 1 - Skladba tříplášťové střechy: 1- střešní tašky; 2- laťování; 3- VVV mezi kontralatěmi; 4- DVV; 5- bednění; 6- VVV mezi krokvemi; 7- tepelná izolace mezi krokvemi; 8- pohled

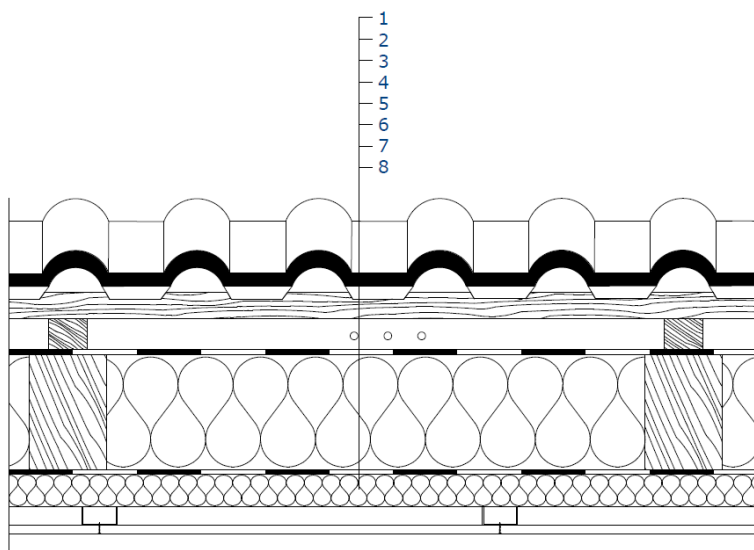
⁶ Také nazývaná jako pojistně hydroizolační vrstva

Shrnutí kladů a záporů – upraveno dle: [4]

<ul style="list-style-type: none"> + Účinnější eliminace nežádoucích tepelných zisků. + Omezení odtávání sněhové pokrývky a tím vznik rampouchů a ledových valů na okrajích střech. 	<ul style="list-style-type: none"> - Komplikované řešení detailů přiváděcích a odváděcích otvorů větrané vzduchové vrstvy. - Provětrávání prodyšné tepelné izolace. - Absence vzduchotěsné a parotěsníci vrstvy.⁷ - Nedostatečná vrstva tepelné izolace a problematický odvod vlhkosti (neprodyšná DVV, nedostatečná VVV často ucpaná tepelnou izolací) často způsobovaly problémy s kondenzací.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.3.2 Zateplení střech mezi a pod krokviemi

Postupné zpříšňování tepelně izolačních požadavků vedlo k tomu, že vrstva tepelné izolace mezi krokviemi již nevyhovovala požadavkům a bylo nutné umístit tepelnou izolaci i v druhé vrstvě v úrovni pod krokviemi. Částečně se tím omezil systematický tepelný most, který tvoří dřevěná krokev. K vývoji došlo také na poli doplňkových vodotěsnících vrstev. Poté, co se na trhu objevily kontaktní difuzně otevřené⁸ DVV, mohla se ze skladby vypustit jedna větraná vrstva a skladba může fungovat jako dvouplášťová. Pro zlepšení vlhkostních poměrů uvnitř skladby se na vnitřní straně navrhuje parozábrana, jak ukazuje Obr. 2. Parozábrana se může rovněž umístit na vnější stranu tepelné izolace hned nad podhled. U tohoto řešení, které se v praxi vyskytuje častěji, je větší nebezpečí poškození parozábrany při realizaci.



Obr. 2 - Skladba dvouplášťové střechy se zateplením mezi a pod krokviemi:

1- střešní tašky; 2- laťování; 3- VVV mezi kontralatěmi; 4- DVV; 5- TI mezi krokviemi; 6- parotěsní vrstva; 7- TI pod krokviemi (vložená v nosném roštu); 8- podhled

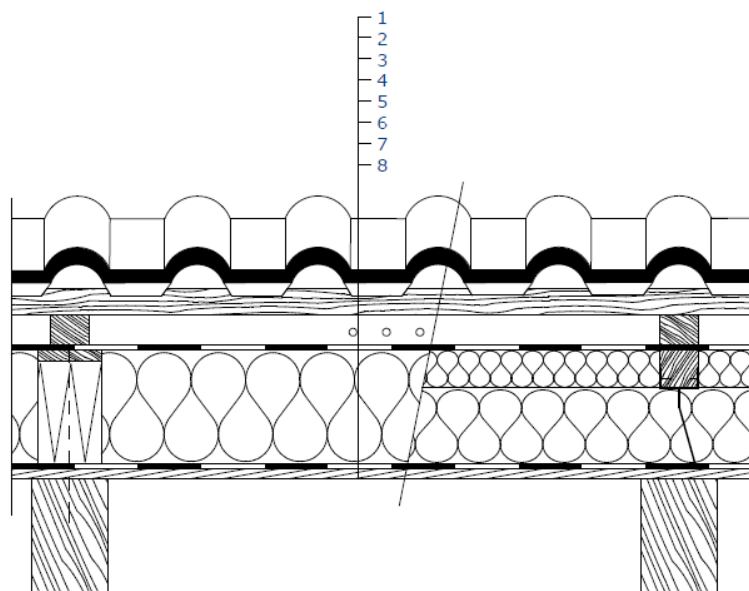
⁷ Později se tato skladba prováděla i s parotěsníci vrstvou.

⁸ Fólie lehkého typu s hodnotou $S_d < 0,3\text{m}$

Shrnutí kladů a záporů – upraveno dle: [4]	
+ Zateplení lze provést pouze kolem obytného prostoru. + Jednoduché řešení přesahů střech.	- Nutná větší tloušťka tepelné izolace kuli systémovým tepelným mostům. - Velice obtížné vytvoření kvalitní parozábrany a její snadné poškození během realizace následujících profesí. - Konstrukce krovu (tj. dřevěné prvky) se často nachází v kondenzační zóně.

1.3.3 Zateplení nad krokviemi pomocí měkké tepelné izolace

Umístění tepelné izolace nad krokviemi nemá tak dlouhou historii, ale v posledních letech získávají tyto systémy zateplení střech stále více na popularitě a dostávají se do podvědomí projektantů, realizačních firem i laické veřejnosti. V závislosti na volbě druhu tepelné izolace existují v podstatě dvě varianty provedení nadkrokevního zateplení. První z nich využívá měkké tepelné izolace, které samy o sobě nejsou dostatečně únosné, a proto se vždy musí doplňovat o další nosné prvky pro přenos zatížení od krytiny a povětrnostních vlivů. Těmito prvky mohou být dřevěný rošt z latí nebo speciální ocelové profily nesoucí lat'. Tím ale v konstrukci vznikají systémové tepelné mosty a zaniká jedna z největších potenciálních výhod tohoto systému. Proto je nejlepším způsobem pro přenos sil použití přířezů tuhé tepelné z MW nebo EPS. (obr. 1) Pruhy únosné izolace je možné ukládat pod kontralat' rovnoběžně s ní nebo kolmo na směr kontralatě, což je v současné době rozšířenější varianta.



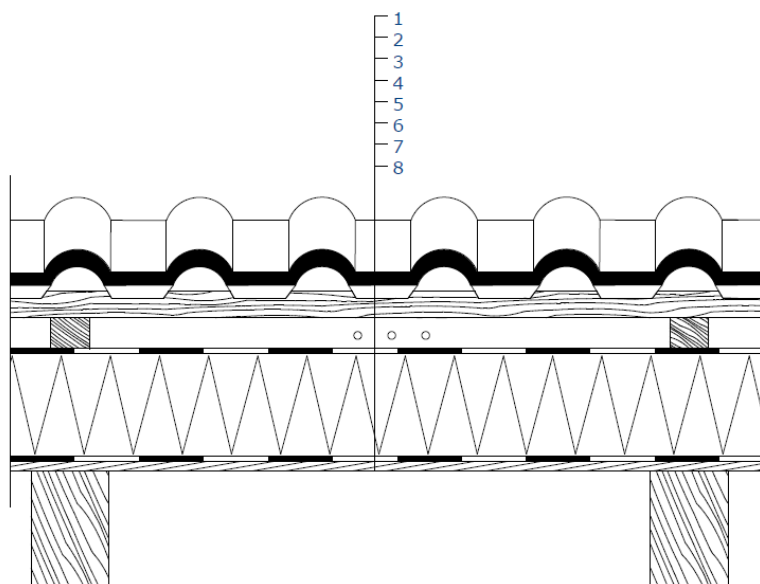
Obr. 3 - Skladba dvouplášťové střechy se zateplením nad krokviemi pomocí měkké TI:
 1- střešní tašky; 2- laťování; 3- VVV mezi kontralatěmi; 4-DVV; 5-TI nad krokviemi;
 6- parotěsnicí vrstva; 7- bednění; 8- krokve

Shrnutí kladů a záporů – upraveno dle: [4]

<ul style="list-style-type: none"> + Možnost kvalitního provedení parozábrany ze strany exteriéru. + Konstrukce krovu je v interiéru, kde není namáhána kondenzovanou vodní párou. + Možnost zachování pohledového krovu. 	<ul style="list-style-type: none"> - Větší celková tloušťka skladby a tedy i výška hřebene. - S výjimkou systému s nosnými prahy z tuhé TI zůstávají ve skladbě systémové tepelné mosty. - Nutnost zateplovat střechu od hřebene po okap, popřípadě přesahy řešit krovovými námětky (větší spotřeba TI a větší vytápěný prostor).
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.3.4 Zateplení nad krokviemi pomocí tuhé tepelné izolace

Druhou možností nadkrokovního zateplení je použití tepelných izolací, které jsou natolik únosné, že se přes ně může provádět kotvení kontralatí. Tyto tepelné izolace jsou tvořeny např. deskami z PIR nebo PUR. Mohou být dodávány rovněž jako částečně kompletizované dílce (např. s nakaširovanou DVV)



Obr. 4 - Skladba dvouplášťové střechy se zateplením nad krokviemi pomocí tuhé TI:
 1- střešní tašky; 2- laťování; 3- VVV mezi kontralatěmi; 4- DVV; 5- TI nad krokviemi;
 6- parotěsnicí vrstva; 7- bednění; 8- krokve

Shrnutí kladů a záporů – upraveno dle: [4]

<ul style="list-style-type: none"> + Eliminace systémových tepelných mostů (menší tloušťka tepelné izolace). + Kvalitní provedení parozábrany z asfaltového pásu ze strany exteriéru. + Konstrukce krovu je v interiéru, kde není namáhána kondenzovanou vodní párou. + Možnost zachování pohledového krovu. + Rychlejší montáž. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutnost zateplovat střechu od hřebene po okap, popřípadě přesahy řešit krovovými námětky (větší potřeba TI a větší vytápěný prostor). - Větší celková tloušťka skladby (přestává platit se zlepšující se úrovní zateplení střechy). - Stále ještě vyšší cena.
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.4 Slabá místa nadkrokevního systému zateplení s tuhou TI

Z předchozí kapitoly vyplývá, že nejlepší poměr mezi klady a zápory je u skladby s tuhou izolací umístěnou nad krokviemi. V ploše se jedná opravdu o téměř dokonalý systém, který je z tepelně-technického hlediska oslabován pouze kotvením skladby pomocí vrutů, které prochází celou tloušťkou TI. Vznikají tak malé bodové tepelné mosty. Hodnoty těchto bodových tepelných mostů uvádí Tabulka 4.

Tabulka 4 – Bodový činitel prostupu tepla pro vruty kotvící skladbu nadkrokevního zateplení v závislosti na tloušťce TI. [5]

Tloušťka tepelné izolace [mm]	Bodový činitel prostupu tepla [W/K]
100-140	0,008
140-190	0,007
200-240	0,006
240-260	0,005

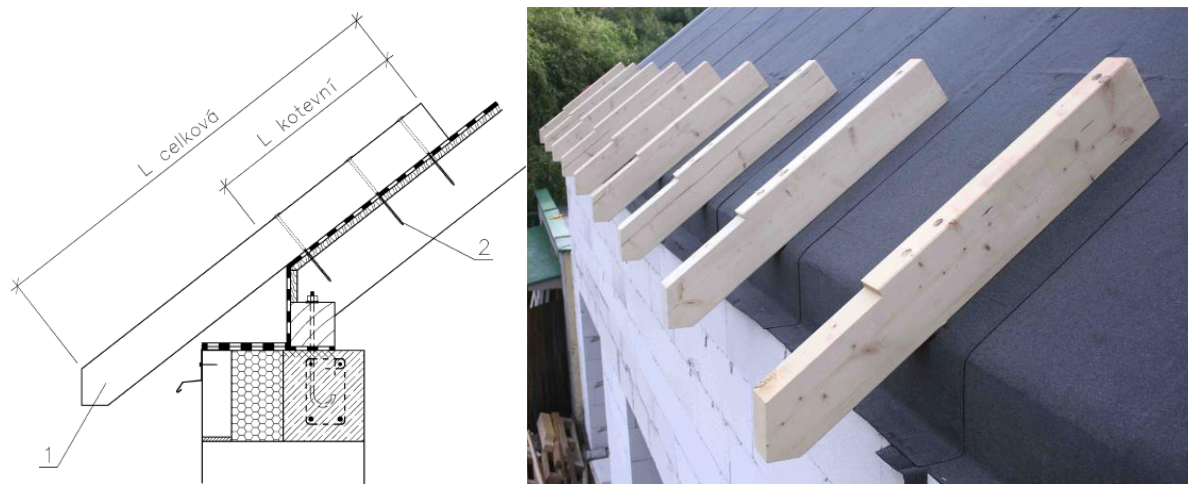
Větší problém u tohoto systému vzniká v oblasti vytvoření přesahu střechy přes svislé nosné konstrukce. Zde se nabízí v zásadě dvě možnosti vyřešení tohoto detailu. První možností je klasické ponechání průběžné krokve a druhou, na pohled o něco elegantnější, využití krokevního námětku, který se připevní na krokev, která je ukončená u pozednice. V obou případech zde dřevěné prvky tvoří tepelné mosty. Navíc se jedná o zabudované dřevěné prvky, což může být vždy zdroj problémů. Z teplotně-vlhkostního hlediska je ideálním případem varianta, kdy je stavba navržena s nulovým přesahem střechy. Nedochází pak žádnému přerušení parotěsnící ani tepelněizolační vrstvy. Toto řešení ale není většinou přijatelné především z estetického hlediska.

1.4.1 Vytvoření přesahu pomocí průběžné krokve

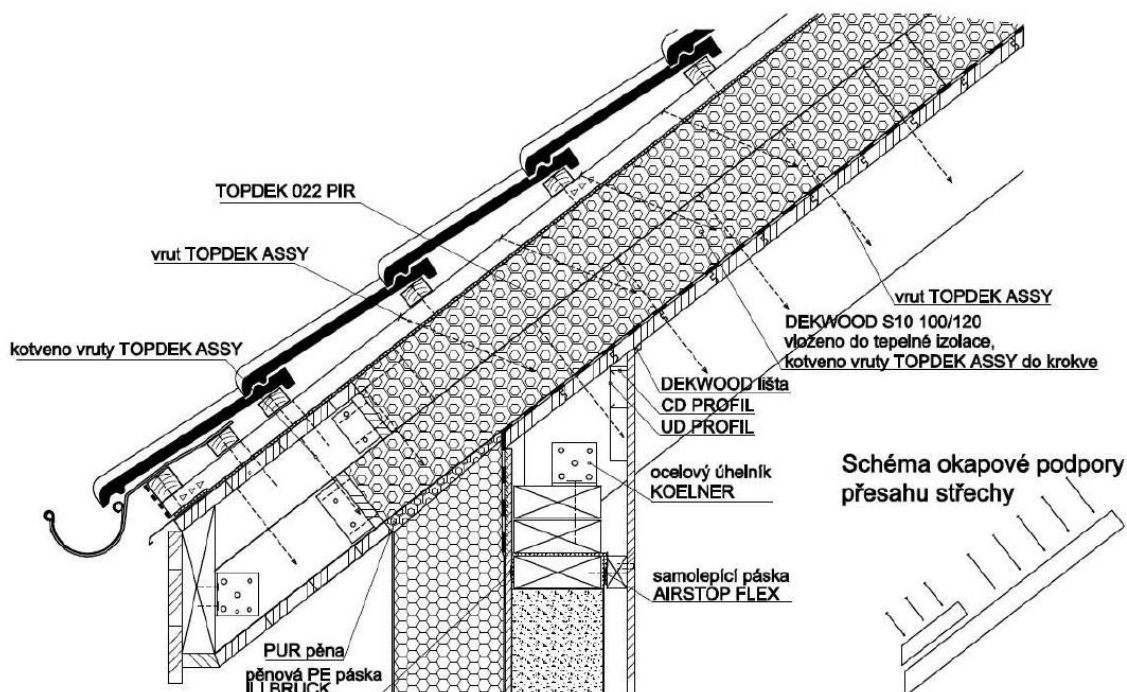
Přesah střechy je v tomto případě proveden, stejně jako u ostatních skladeb, krokví, která přesahuje přes pozednici dál do prostoru. Vzniká tak prvek, ve kterém není nijak přerušen teplotní ani vlhkostní tok. Navíc ukončení parotěsnící vrstvy se provádí v detailu kolem krokve obtížněji. Další nevýhodou tohoto řešení je tloušťka přesahu střechy. Nad krokviemi je zde většinou palubkami obložená vrstva, která odpovídá tloušťce tepelné izolace. Detaily přesahu střechy vytvořené tímto způsobem jsou znázorněny na výkresech *Detail A* a *Detail B* (viz příloha P11) a dále se o nich pojednává v kapitole 4.2.1.

1.4.2 Vytvoření přesahu pomocí krokevního námětku

V tomto případě, jak už bylo zmíněno, dochází k ukončení krokve na pozednici a přesah střechy je proveden dalším trámovým prvkem, který se připevní na ukončenou krokev. Výhodou tohoto provedení je zaprvé estetický vzhled konstrukce, kdy tímto provedením dochází k výrazné redukci tloušťky přesahující skladby, která pak působí stejně jako skladba se zateplením mezi krokvemi. Druhou výhodou je možnost kvalitnějšího provedení parozábrany, která není porušena prostupujícími dřevěnými prvky.



Obr. 5 - Upevnění krokevního námětku a provedení parozábrany [6]



Obr. 6 - Řešení přesahu pomocí dvojitého krokevního námětku, převzato z [6]

Celkovou délku námětků a délku jejich uložení určí projektant na základě statického výpočtu. Obvykle toto uložení odpovídá zhruba polovině délky námětku. Na části střechy tak vznikne skladba, které se z tepelně-technického hlediska velice podobá skladbě s izolací mezi krokvy. Tento tepelný most lze částečně redukovat použitím tzv. dvojitého námětku (viz Obr. 6), který lze použít, pokládá-li se vrstva tepelné izolace ve dvou nebo více vrstvách. Toto řešení je typické především pro nízkoenergetické a pasivní domy.

Tento detail vytvoření přesahu se netýká pouze okapové hrany, ale je třeba vyřešit i u štítové hrany. Možnosti uspořádání okapových a štítových námětků jsou uvedeny v příloze P 1.

1.5 Dřevěné prvky v konstrukci střechy

Dřevo je jednoznačně nejrozšířenějším materiálem pro nosnou konstrukci šikmých střech a také materiálem s největší tradicí v tomto ohledu. Existuje mnoho a mnoho staveb, kde dřevěný krov plní svoji funkci i stovky let. Na druhou stranu je známo i nezanedbatelné množství staveb, kde jsou dřevěné prvky na hranici životnosti již po několika letech užívání stavby. To je dáno několika faktory, přičemž nejvýznamnějším z nich je způsob zabudování dřevěného prvku. Ve všech starých učebnicích pozemního stavitelství se důrazně doporučuje, abychom se vyvarovali návrhů, kde dochází k zabudování dřevěných prvků nebo jejich uzavření do neprodyšné konstrukce. S tím se ale na dnešních stavbách celkem běžně setkáváme a proto přichází nové problémy, které je třeba řešit a to nejen ve střešní konstrukci. Podobné detaily můžeme najít u prostupujících konstrukcí balkonů, uložení pergol, apod.

1.5.1 Vlastnosti dřeva

Používání dřeva pro konstrukce krovu je tolik rozšířené pro jeho výborné vlastnosti, kterými jsou především pevnost v tahu a ohybu, výborný poměr mezi pevností a objemovou hmotností, což nám umožňuje navrhovat lehké a subtilní konstrukce, dobrá opracovatelnost materiálu a tím i rychlá montáž.

Tabulka 5 – Základní vlastnosti dřeva. (zdroj: [7])

Dřevo	ρ_v [kg/m ³]	σ_c (tlak) [Mpa]	σ_t (tah) [Mpa]	σ_f (ohyb) [Mpa]	E [Gpa]	λ [W/(mK)]	α [10 ⁻⁶ K ⁻¹]
Měkké	400-800	30-60	40-150	45-130	10-14	0,13-0,21	3,5-5,5
Tvrdé	650-1000	40-85	60-180	55-170	12-16	0,17-0,25	3,5-5,5

Ve prospěch dřeva určitě hovoří i to, že je to dobře dostupný a obnovitelný materiál, který je možno recyklovat⁹.

Zaměříme se ale spíš na nedostatky, s kterými se musíme při návrhu dřevěných konstrukcí vypořádat. Dřevo je anizotropní materiál, který má biologický základ. Mohou se zde vyskytovat různé vady s tímto spojené. Některé vznikají už při růstu dřeva (např. suky, výsušné trhliny, pryskyřičné kapsy apod.) a některé vznikají při výrobě prvků (např. špatný sklon vláken – tzv. šikmý řez, vytrhaná vlákna apod.) Tyto vady ale mohou být odstraněny tříděním a prohlídkou dřeva před zabudováním. Větší nebezpečí skýtají hrozby, které mohou napadnout dřevo i po jeho zabudování. Těmi jsou především napadení dřevokaznými houbami a hmyzem. I před nimi ale lze dřevo chránit, ať už impregnací (viz. 1.5.4) nebo dodržením bezpečné vlhkosti dřeva (viz. 1.5.3). Závěrem je ještě nutné zmínit hořlavost, která bývá udávána jako základní nevýhoda dřeva. Výhodou v nevýhodě je alespoň to, že dřevo se během požáru chová předvídatelně (na rozdíl od oceli, která ztrácí razantně pevnost už u 550°C) a na jeho povrchu se vytváří zuhelnatělá vrstva, která výrazně zpomaluje další odhořívání.

1.5.2 Vlhkost dřeva a způsoby jejího měření

„Dřevo je ve vztahu k okolnímu prostředí hygroskopickým materiálem schopným přijímat nebo odevzdávat vodu, ať už ve skupenství kapalném nebo plynném, a má schopnost měnit svoji vlhkost podle vlhkosti okolního prostředí. Vlhkost dřeva se nejčastěji vyjadřuje podílem hmotnosti vody k hmotnosti dřeva v absolutně suchém stavu (tzv. vlhkost absolutní - w_{abs})“ [8].

$$W_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100 \quad (10)$$

m_w je hmotnost nevysušeného vzorku, v g;

m_0 hmotnost vysušeného vzorku, v g;

m_v hmotnost vody obsažené ve vzorku, v g.

Vodu ve dřevě lze z hlediska způsobu jejího uložení rozdělit do tří skupin:

Voda chemicky vázaná – „je součástí chemických sloučenin. Nelze ji ze dřeva odstranit sušením, ale pouze spálením, proto je ve dřevě zastoupena i při nulové absolutní vlhkosti

⁹ Otázkou je recyklovatelnost penetrovaného dřeva, kdy zpravidla záleží na použitém druhu penetrace.

dřeva. Zjišťuje se při chemických analýzách dřeva a její celkové množství představuje 1-2% sušiny dřeva. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností nemá žádný význam“ [8].

Vodu vázanou (hygroskopickou) - „Nachází se v buněčných stěnách a je vázána vodíkovými můstky na hydroxylové skupiny OH amorfni části celulózy a hemicelulóz. Voda vázaná se ve dřevě vyskytuje při vlhkostech 0-30%. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností má největší a zásadní význam“ [8].

Vodu volnou (kapilární) – „Vyplňuje ve dřevě lumeny buněk a mezibuněčné prostory. Při charakteristice fyzikálních a mechanických vlastností má podstatně menší význam než voda vázaná“ [8]. „Uniká ze dřeva nejdříve, jejím únikem se dřevo objemově ani jinak nemění, mění se pouze objemová hmotnost (hustota). Pokud je dřevo zbaveno volné vody, není ji možné nahradit tak, že se dřevo umístí do prostředí s vlhkým vzduchem, dřevo se musí do vody namočit“ [9].

Tabulka 6 – Vlhkostní stupně dřeva. [9]

Stav dřeva	Vlhkost[%]	Stav dřeva	Vlhkost[%]
Nasáklé dřevo (ponořené do vody)	až 150	Vyschlé dřevo (v otevřeném prostředí)	18-23
Čerstvé dřevo (rostoucí, nebo zrovna poražený strom)	70-100	Vzduchosuché (kryté před deštěm)	13-18
Nasycené dřevo (bez volné vody, bod nasycení vláken)	30	Vysušené dřevo (sušené v suchém podnebí)	<12
Polosuché dřevo (běžné řezivo)	23-30	Absolutně suché (v sušárně o teplotě 103°C, nestabilní stav)	0

Vlhkost dřeva lze měřit několika způsoby, které se na základě způsobu měření dělí do dvou skupin:

Přímé metody – zjišťuje se skutečný obsah vody ve dřevě. Nejrozšířenější přímou metodou je metoda gravimetrická. „Ta vychází z definičního vzorce vlhkosti podle rovnice (10). Tato metoda je nejpřesnější metodou určení vlhkosti dřeva a je také referenční metodou při posuzování přesnosti ostatních metod. Pracovní postup při gravimetrické metodě spočívá ve zjištění hmotnosti vlhkého dřeva m_w a absolutně suchého dřeva m_0 po jeho vysušení při teplotě $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Sušení se kontroluje opakovaným vážením. Dřevo se za vysušené považuje tehdy, když mezi následujícími dvěma váženími v intervalu 2 hodin se hmotnost nezmění o více než 0,02 g, resp. 1%. U překližek, laťovek, dřevotřískových a dřevovláknitých desek se

hmotnost vzorku považuje za stálou, když rozdíl mezi dvěma po sobě následujícími váženími v intervalu 6 hodin nepřesahuje 0,1g hmotnosti zkoušeného vzorku. Výhodou gravimetrické metody je její vysoká přesnost, k nevýhodám patří náročnost na čas, pracnost přípravy tělísek a nemožnost kontinuálního měření vlhkosti“ [8].

Nepřímé metody – U nepřímých metod neměříme přímo vlhkost, ale veličiny, které jsou na vlhkosti závislé. „Rozšířené jsou zejména metody elektro-fyzikální (odporová, dielektrická), radiometrické (založené na absorpci různých druhů záření), akustické (využití rychlosti šíření nebo adsorpce zvuku a ultrazvuku) a termo-fyzikální. Trend současného vývoje přístrojů na měření vlhkosti potvrzuje, že nejperspektivnější jsou elektrické vlhkoměry.“ [8].

1.5.3 Požadavky na zabudování dřevěných prvků

V souvislosti s hrozbami zmíněnými v předchozích kapitolách jsou kladeny požadavky na zabudování dřevěných prvků do konstrukce a na jejich vlastnosti, především pak na jejich vlhkost. Z normy ČSN 730540 (2011) [2] upravenou změnou Z1 této normy [3] můžeme vyčíst dva požadavky. První říká, že „při zabudování dřeva a/nebo materiálů na bázi dřeva do stavebních konstrukcí je nutné dodržet jeho dovolenou vlhkost např. podle ČSN EN 14220. Překročí-li za normových podmínek užívání rovnovážná hmotnostní vlhkost dřeva nebo materiálu na bázi dřeva 18%, je požadovaná funkce ohrožena“ [2], [3]. Druhý požadavek této normy týkající se zabudovaných dřevěných prvků již byl zmíněn v kapitole 1.1 a říká se v něm, že pro stavební konstrukci, u které by zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce M_c , v $\text{kg}/(\text{m}^2\text{a})$, mohla ohrozit její požadovanou funkci, nesmí dojít ke kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce“ [2]. V poznámce pod touto podmínkou je pak blíže specifikováno, co se rozumí ohrožením požadované funkce. „Ohrožením požadované funkce je obvykle podstatné zkrácení předpokládané životnosti konstrukce, snížení vnitřní povrchové teploty konstrukce vedoucí ke vzniku plísní, objemové změny a výrazné zvýšení hmotnosti konstrukce mimo rámec rezerv statického výpočtu, zvýšení hmotnostní vlhkosti materiálu na úroveň způsobující jeho degradaci. Zejména musí být respektovány podmínky pro uplatnění dřeva a/nebo materiálů na bázi dřeva ve stavebních konstrukcích dle ČSN 73 2810“ [2]. Z výše uvedeného vyplývá, že v dřevěných prvcích nesmí nedocházet ke kondenzaci vodních par. Kondenzace v konstrukcích obsahujících dřevěné prvky nebo prvky na bázi dřeva se připouští pouze v případě, že jsou přijata speciální opatření. „Je-li ve stavebních konstrukcích hodnocených podle 6.2 (Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce – pozn. autora) dřevo a/nebo materiály na bázi dřeva, musí být navržena vhodná konstrukční

opatření pro jejich ochranu před nepříznivými účinky vlhkosti a provedena trvanlivá ochrana těchto materiálů podle ČSN 49 0600-1 nejméně pro třídu ohrožení 2 podle ČSN EN 335-1 a ČSN EN 335-2. Pokud je ochrana podle ČSN 49 0600-1 jediným přijatým opatřením proti nepříznivému působení vlhkosti, musí být zajištěna její snadná obnova. Zároveň je při zabudování nutné dodržet dovolenou vlhkost dřeva a/nebo materiálů na bázi dřeva např. podle ČSN EN 14220. Pokud v odůvodněných případech výjimečně překročí rovnovážná hmotnostní vlhkost dřevěných prvků v okamžiku zabudování 18%, musí být zajištěn snadný odvod vlhkosti z konstrukce.“ [2] To se v dnešní době stává zcela běžně. Konstrukční dřevo se zabudovává často velice brzy po jeho natěžení, kdy vlhkosti dosahují i více než 50 %. Dobrý odvod vlhkosti by měl být tedy zajištěn vždy, když nemáme jistotu, že zabudovávané dřevo, bylo řádně vysušeno.

1.5.4 Ochrana dřeva

Jak už bylo naznačeno dříve, dřevo je nezbytné chránit proti nepříznivým vlivům, které by mohly snižovat jeho životnost nebo vizuální kvalitu. Těmi se rozumí především biotičtí činitelé. Jejich výskyt v závislosti na vlhkosti dřeva ukazuje Tabulka 7. Ochrany dřeva lze dosáhnout dvěma postupy, které se mohou vzájemně doplňovat:

Stavební (konstrukční) ochrana – „Tímto se rozumí takové zabudování dřeva, aby nebylo vystaveno tepelně-vlhkostním podmínkám vhodným pro napadení dřevokaznými organismy.“ [9] Konkrétně se jedná například o to, že bychom neměli „zabudovávat do konstrukcí vodu, měli bychom omezit nebo ideálně zcela vyloučit kondenzaci, zamezit pronikání srážkové vody, umožnit únik vlhkosti z konstrukce, omezit místa styku se zdivem a kovovými prvky na nutné minimum, apod. [9]

Chemická ochrana – „Chrání dřevo především před napadením dřevokazným hmyzem a houbami (nikoliv před hnilobou). Ne každá impregnace chrání před vším, rozsah a stupeň ochrany je uveden v technických listech výrobců a na zadních stranách výrobků“ [9]. Důležité je také rozlišovat způsoby impregnace, které jsou jinak účinné (např. tlaková impregnace vs. impregnace nátěrem nebo máčením). Kromě způsobu impregnace má na účinnost aplikace vliv i druh dřeviny. V příloze P 2 je uvedena přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných u nás rozšířených dřevin, jak jsou uvedeny v ČSN EN 350-2. Při výběru impregnace je také dobré kontrolovat tzv. „nevyluhovatelnost“, která zaručuje, že z naimpregnovaného prvku nebudou unikát škodlivé látky, především pak kyselina boritá. „Látky obsahující více jak 5,5% kyseliny borité jsou klasifikovány dle chemického zákona jako "toxické". Prodej fyzickým osobám je zamezen“ [10].

Tabulka 7 - Výskyt biotických činitelů dle ČSN 490600-1 Ochrana dřeva - Základní ustanovení – Část 1: Chemická ochrana [10]

Třída ohrožení	Expozice dřeva	Vlhkost dřeva	Výskyt biotických činitelů				
			Dřevokazné houby		Dřevozbarvující houby		Hmyz
			Basidio-mycetes	Houby způsobující měkkou hnilobu	Houby způsobující modráání	Plísňe	Brouci
1	v interiéru staveb, pod střechou, bez styku se zemí, trvalé suché	max. 20%	ne	ne	ne	ne	ano ¹⁾
2	bez styku se zemí, zcela chráněné před povětrností a vyluhováním vodou, možné je přechod. navlhnutí	Občasné >20%	ano	ne	ano	ano	ano
3	dřevo vystavené vlivu povětrnosti ale bez přímého a trvalého styku se zemí	Často >20%	ano	ne	ano	ano	ano
4	dřevo ve styku se zemí a/nebo sladkou vodou	Trvale >20%	ano	ano	ano	ano	ano
5	Dřevo v trvalém a přímém styku se slanou vodou	Trvale >20%	ano	ano	ano	ano	ano
¹⁾ Ochrana není nutná: - je-li dřevo zabudováno v prostorách s běžným klimatem tak, že ho možno pravidelně kontrolovat; - Použijí-li se dřeviny s jádrovým dřevem, mající podíl bělového dřeva menší než 10%.							

2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zodpovězení následujících otázek a splnění následujících úkolů:

- Jaké jsou vlhkostní a teplotní poměry v dřevěných prvcích, které tvoří přesahy střech s nadkroevním systémem zateplení?
- Zjištění těchto hodnot jednak pomocí zvoleného výpočetního modelu a jednak měřením na stavbě.
- Zkonstruování vlastního měřicího zařízení vlhkosti dřeva pro tento účel.
- Jak se liší výsledky výpočetního modelu od hodnot získaných měřením?

Pro splnění cílů této práce, které jsou zde popsány, bude nutné stanovení a vypracování dalších dílčích úkolů, které jsou popsány společně s vytyčenými cíli podrobněji v následujících bodech.

2.1 Vytvoření výpočetního modelu

Jedním z prvních kroků této práce bude vytvoření výpočetního modelu, pomocí kterého se bude dopočítávat rozložení teplotního pole a pole relativních vlhkostí ve vybraném detailu. Pro tento výpočet se bude muset vybrat odpovídající software, který bude schopný uvedených výpočtů a který tyto výpočty bude provádět ve 3D.

2.2 Tepelně-vlhkostní posouzení vybraných detailů

Hlavním cílem této diplomové práce je posouzení kritických detailů nadkroevního systému zateplení šikmých střech. Mezi ně patří především detaily vytvoření přesahů střechy ať už v podobě průběžné krokve nebo kroevního námětku. Tyto detaily budou posuzovány ze dvou hledisek. Prvním bude posouzení z hlediska tepelné techniky, kdy budou vybrané detaily vymodelovány ve zvolených výpočetních programech a bude kontrolováno splnění požadavků na šíření tepla a vodní páry, které jsou uvedené v normě ČSN 730540 (2011) [2]. Konkrétně jsou to požadavky na maximální hodnotu součinitele prostupu tepla v ploše střechy, lineární a bodový činitel prostupu tepla tepelných vazeb a požadovanou hodnotu nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu. Dále bude sledováno množství zkondenzované páry v konstrukci, pokud ke kondenzaci bude docházet. Zkoumán bude rovněž vliv zjednodušení, která byla provedena během modelování detailů a jejich vliv na výsledné hodnoty. Ve druhém kroku budou zabudované dřevěné prvky v těchto detailech posuzovány z hlediska životnosti. Na tu má zásadní vliv jejich vlhkost, která bude zjišťována

následujícím způsobem. Nejprve proběhne výpočet difuzního toku vodních par konstrukcí a výpočet rozložení teplot v detailu. Na jejich základě bude pomocí výpočtu dle Hailwood-Horrobinovy rovnice, popřípadě podle diagramu rovnovážné vlhkosti smrkového dřeva podle Čulického (viz Obr. 9) odvozována vlhkost těchto zabudovaných dřevěných prvků a kontrola zda splňují požadavky ČSN 730540 (2011) [2] upravenou změnou Z1 této normy [3]. Tyto požadavky byly podrobněji probrány v kapitole 1.5.3.

2.3 Měření na reálné stavbě

Souběžně s vypracováváním diplomové práce bude probíhat měření na skutečné stavbě, které bude sloužit pro získání představy o tom, jak se zkoumaný detail chová v reálném prostředí. Možnost měření byla přislíbena na rodinném domě v okrese Uherské Hradiště, na kterém je proveden nadkroevní systém zateplení s přesahy střechy vytvořenými pomocí průběžné krokve. Pro měření bude zvolena správná měřicí technika a dobře zváženo rozmístění jednotlivých čidel na sledovaném detailu. Sledovanými parametry budou v první fázi měření především povrchové teploty na krokvi (na několika místech v exteriéru i interiéru) a teploty a relativní vlhkosti venkovního i vnitřního vzduchu. Ve druhé fázi, která začne koncem roku 2013, bude započato měření vlastní vlhkosti dřeva. To bude rovněž probíhat na několika místech na průběžné krokvi a to jak na jejím povrchu, tak i uprostřed tohoto dřevěného prvku.

2.4 Konstrukce vlastního zařízení na měření vlhkosti dřeva

S měřením popsaným v předchozí kapitole je spojen další cíl této práce, kterým je vytvoření multifunkčního zařízení, které kromě jiného bude umět dlouhodobě měřit právě vlhkost dřevěných prvků. Pro splnění tohoto cíle bude důležité především správně zvolit princip, na kterém bude měření vlhkosti dřeva probíhat, nalezení kalibrační křivky a způsobu napojení měřícího zařízení na vlastní dřevěný prvek.

2.5 Porovnání teoreticky získaných výsledků s praktickým měřením

Posledním cílem této diplomové práce je porovnání výsledků získaných provedeným měřením na reálné stavbě s výsledky získanými ze zvoleného výpočetního modelu. Hlavním cílem této kapitoly bude zjištění velikosti odchylek mezi oběma přístupy a analýza jejich vzniku. Toto porovnání také umožní stanovit vliv provedených zjednodušení, která budou ve výpočetním modelu z různých důvodů provedeny.

3. ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

3.1 Vytvoření výpočetního modelu

Jelikož detaily, kterými se tato práce zabývá, jsou bodové prostupující konstrukce, bylo nutné pro vytvoření výpočetního modelu použít software, který umožňuje pracovat ve 3D. Pro tento účel byl nakonec vybrán program Cube3D a to především ze dvou důvodů. Prvním a hlavním důvodem bylo to, že Cube3D se jako jeden z mála dostupných programů dokáže kromě výpočtů stacionárních teplotních polí vypočítat i s výpočty polí stacionárních tlaků vodních par v jednotlivých průřezech detailu, které jsou nezbytně nutné k vlhkostnímu posouzení vybraných dřevěných prvků. Druhým důvodem byla již zmiňovaná rozšířenost a dostupnost tohoto programu, takže v případě ověření výpočtových teorií by vlastní výpočty mohlo provádět široké spektrum uživatelů.

3.1.1 Cube3D

„Program CUBE 3D 2011 je určen pro komplexní hodnocení stavebních detailů (tepelných mostů a vazeb) z hlediska trojrozměrného stacionárního šíření tepla a vodní páry. Umožňuje výpočet nejnižší vnitřní povrchové teploty, teplotního faktoru vnitřního povrchu, tepelných toků detailem, bodového činitele prostupu tepla, oblasti kondenzace vodní páry a roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry v detailu. Zohledňuje postupy a požadavky ČSN 730540 (včetně ČSN 730540-2 z roku 2011), STN 730540 a EN ISO 10211“ [11].

Výpočet pole teplot a částečných tlaků vodní páry – Základní informace o použitých matematických vztazích jsou uvedeny v manuálu [12]. Trojrozměrné stacionární šíření tepla je popsáno parciální diferenciální rovnicí (11), pro kterou platí okrajová podmínka (12).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \left[\frac{\partial \theta(x, y, z)}{\partial x} \right] \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda \left[\frac{\partial \theta(x, y, z)}{\partial y} \right] \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda \left[\frac{\partial \theta(x, y, z)}{\partial z} \right] \right] = 0 \quad (11)$$

$$- \lambda \cdot \left(\frac{\partial \theta(x, y, z)}{\partial n} \right) = h \cdot (\theta - \bar{\theta}) \quad (12)$$

λ součinitel tepelné vodivosti, v W/(m.K);

θ teplota v bodě, v K;

h součinitel přestupu tepla, v W/(m²K);

$\bar{\theta}$ teplota v okolním prostředí, v K;

$\partial x, \partial y, \partial z$ derivace podle x, y a z;

∂n derivace podle normály.

„Rovnice (11) se řeší na jednoduše souvislé oblasti Ω s hranicí Γ , na které musí být splněna okrajová podmínka (12). Hranice Ω je pravoúhlá. Dále se pro výpočet předpokládá, že oblast Ω lze rozdělit na konečný počet oblastí, v kterých je funkce $\lambda(x,y,z)$ konstantní. Rovněž funkce $h(x,y,z)$ a $\bar{\theta}(x,y,z)$ jsou uvažovány konstantní po částech hranice Γ . Rovnice (11) je pro řešení metodou konečných prvků upravena Galerkinovou metodou a pomocí Greenovy věty na tvar (13)“ [12].

$$K \cdot r = q \quad (13)$$

K matice vodivosti tělesa:

$$K = \int_{\Omega} \left[\lambda \frac{\partial N}{\partial x} \cdot \frac{\partial N^T}{\partial x} + \lambda \frac{\partial N}{\partial y} \cdot \frac{\partial N^T}{\partial y} + \lambda \frac{\partial N}{\partial z} \cdot \frac{\partial N^T}{\partial z} \right] d\Omega \quad (14)$$

r je sloupcová matice uzlových hodnot teplot (neznámých);

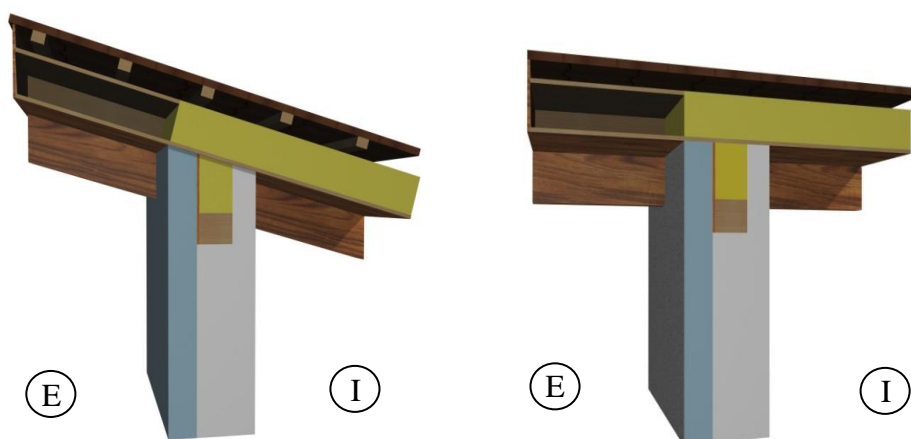
q je vektor pravé strany:

$$q = \int_{\Gamma} N \cdot h \cdot (\bar{\theta} - N^T \cdot r) d\Gamma \quad (15)$$

N řádková matice báзовých funkcí.

Uživatelské výhody programu - Program je relativně velice jednoduchý na pochopení a téměř v každém bodě zadávání ať už geometrie, materiálů nebo třeba okrajových podmínek se uživatel může obrátit na nápovědu. Součástí jsou také integrované knihovny, které ulehčí zejména definování jednotlivých materiálů a okrajových podmínek. Dostupný je rovněž manuál, který provede nového uživatele programem a seznámí ho s prostředím a způsoby práce v programu.

Uživatelské nevýhody programu – Jednoduchost programu má nepříjemný důsledek v podobě poměrně zdlouhavého zadávání geometrie, která vzniká ve dvou krocích. Nejprve musí uživatel vybraným detailem proložit soustavu pravoúhlých os (způsob rozdělení jednotlivých detailů do pravoúhlých bloků je uveden v příloze P 4), které ve druhém kroku používá pro definování jednotlivých bloků a definuje jim patřičný materiál. Obdobné je i zadávání okrajových podmínek, které probíhá také pomocí zadávání souřadnic jednotlivých os. Možnost zadání pouze pravoúhlé geometrie je další nevýhodou a určitým omezením toho programu. To vedlo k tomu, že všechny řešené detaily musely být zjednodušeny tak, jak je znázorněno na Obr. 7.



Obr. 7 – Model měřeného detailu (přesah pultové střechy vytvořený pomocí průběžné krokve) a jeho zjednodušení pro zadání do programu Cube3D

3.1.2 Vliv zjednodušení geometrie

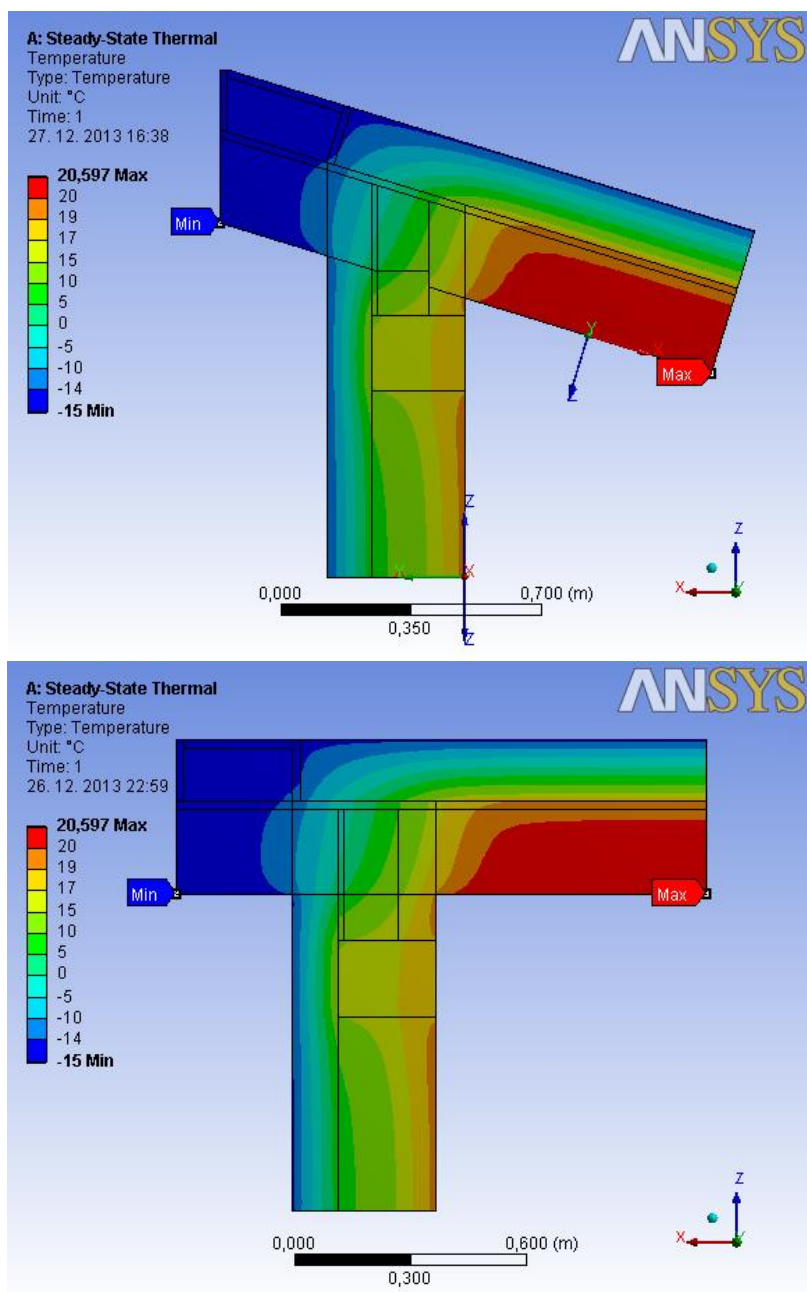
Pro ověření vlivu zjednodušení geometrie popsané v předchozí kapitole, byl zvolen program ANSYS, který umožňuje zadání v podstatě jakékoliv geometrie. S výhodou zde může být využito i možnosti importu geometrie z jiných 3D modelářských programů, kterými jsou například SketchUp nebo Rhinoceros.

Porovnání obou modelů ukazuje Tabulka 8., kde je porovnán celkový tepelný tok z jednoho prostředí do druhého a minimální a maximální teplota na krokvi v interiéru resp. exteriéru. Výsledky podle očekávání ukazují, že z důvodu ostřejšího úhlu, který svírá konstrukce stěny a střechy, vychází zjednodušený model příznivěji. U tepelného toku je tento rozdíl menší než 1% celkového tepelného toku. Větší rozdíl už je v minimální povrchové teplotě v interiéru, která liší téměř o $0,6^{\circ}\text{C}$. Tato hodnota sice také odpovídá pouze necelým 1,7% rozdílu vnitřní a venkovní teploty, ale i tento rozdíl by mohl ovlivnit splnění požadavku na teplotní faktor vnitřního povrchu, což je třeba mít na vědomí. Rozdíl $0,6^{\circ}\text{C}$ znamená změnu teplotního faktoru vnitřního povrchu cca $0,017^{10}$. U okapové hrany budou hodnoty získané zjednodušeným výpočtem naopak na stranu bezpečnou.

Tabulka 8. Porovnání výsledků šikmého a zjednodušeného modelu v programu ANSYS.

Geometrie modelu	Tepelný tok detailem [W]	Min. teplota na krokvi v interiéru [$^{\circ}\text{C}$]	Max. teplota na krokvi v exteriéru [$^{\circ}\text{C}$]
Šikmý	13,394	16,688	-13,173
Kolmý	13,266	17,281	-13,266
Rozdíl:	0,128	-0,593	0,093

¹⁰ Platí pro návrhové teploty $20,6^{\circ}\text{C}$ pro vnitřní a -15°C pro venkovní vzduch

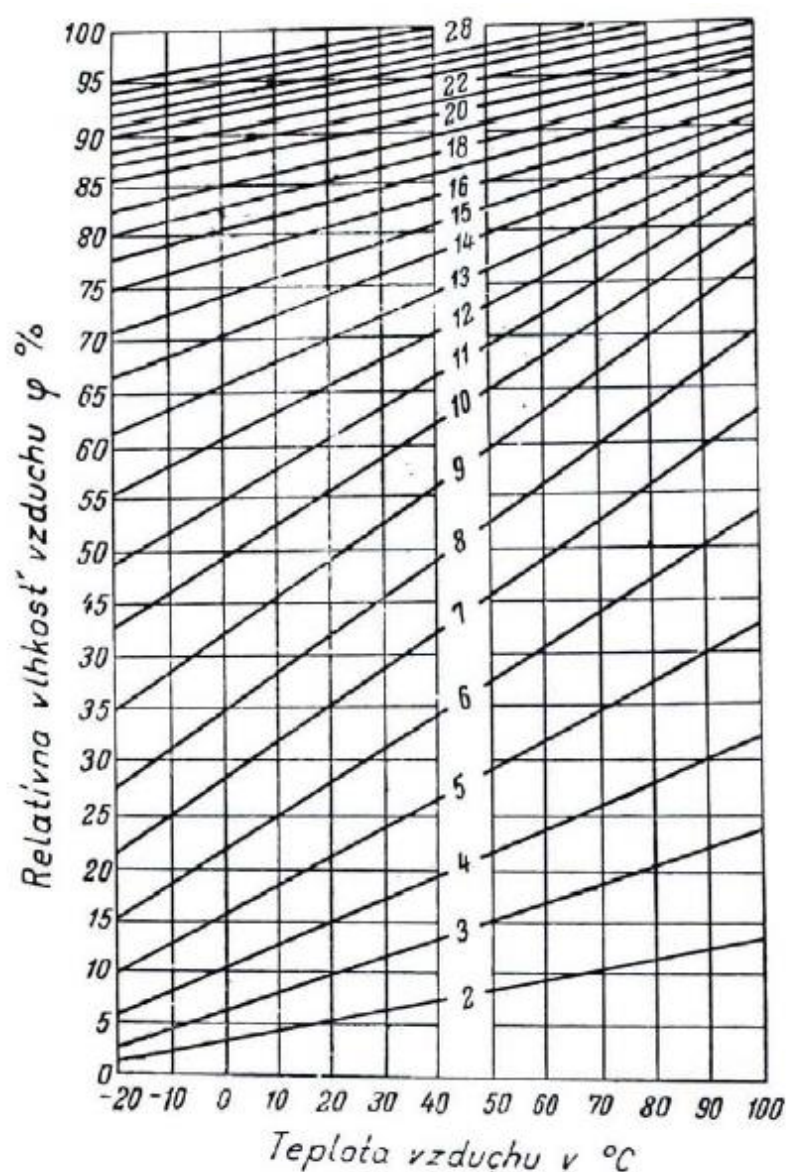


Obr. 8 – Rozdíl mezi průběhem teplot ve skutečném a zjednodušeném modelu.

3.2 Tepelně-vlhkostní posouzení vybraných detailů

V rámci tepelně-vlhkostního posouzení byly jednotlivé detaily vytvoření přesahů střech vyhodnoceny dle ČSN 730540-2 (2011). Byl ověřen požadavek na splnění teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} a zjištěny hodnoty bodového činitele prostupu tepla pro konstrukce splňující požadované, doporučené nebo pasivní standardy zateplení. Současně byl také sledován vlhkostní stav detailu. V případě, že v detailu docházelo ke kondenzaci, tak bylo zjišťováno množství kondenzující vodní páry během extrémních návrhových podmínek. Toto množství se pro lepší představu převádělo na objem kondenzátu vzniklého za týden při těchto

podmínkách. V dalším kroku se posuzovaly dřevěné prvky nacházející se v těchto detailech. „Dřevo je navlhavý, hygroskopický materiál, který má schopnost měnit svoji vlhkost v závislosti na teplotě a vlhkosti okolního prostředí. Vlhkost dřeva, která se ustálí při daných podmínkách prostředí (relativní vlhkost vzduchu a teplota vzduchu) se nazývá rovnovážnou vlhkostí dřeva (RVD). Stav, který je takto dosažen se potom nazývá stavem vlhkostní rovnováhy (SVR). S každou změnou relativní vlhkosti a teploty vzduchu se mění také rovnovážná vlhkost dřeva. Pokud je vlhkost dřeva nižší než odpovídá SVR, dřevo přijímá (adsorbuje) vodu ve formě vodní páry z okolního prostředí, dokud nedosáhne stavu vlhkostní rovnováhy. Pokud je vlhkost dřeva vyšší než SVR, nastává proces opačný a dřevo vodu ztrácí, což nazýváme desorpceí.“ [13]



Obr. 9 – Diagram rovnovážné vlhkosti dřeva N. N. Čulického [14]

Na základě tohoto faktu byla dopočítávána vlhkost dřeva i v této práci. Vybrané detaily byly posuzovány v několika řezových rovinách, ve kterých jsou výpočtem v programu Cube3D získávány teplotní pole a pole tlaků vodních par, ze kterých je dopočítávána relativní vlhkost. Po získání těchto dvou veličin se nabízí dvě možnosti, jak získat hodnotu rovnovážné vlhkosti dřeva. Prvním způsobem je odečtení z grafu. Zde existuje několik variant těchto grafů, které se od sebe navzájem nepatrně odlišují. Nejspíš nejznámější z nich je diagram rovnovážné vlhkosti dle Čulického (Obr. 9).

Druhým způsobem je dopočítání vlhkosti dřeva. Dopčítávání je výhodné zejména při vyhodnocování velkého množství dat, daným ať už rozsáhlostí výpočtové sítě u výpočtového modelu (velké množství výpočtových bodů po průřezu) nebo velkého množství dat z dlouhodobého měření. Opět je zde více možností výpočtu. V této práci byla pro výpočet RVD využita Hailwood-Horrobinova rovnice (16) [15]. Graficky znázorněné výsledky této rovnice pak vykresluje Graf 1.

$$M_{eq} = \frac{1800}{W} \left[\frac{kh}{1 - kh} + \frac{k_1kh + 2k_1k_2k^2h^2}{1 + k_1kh + k_1k_2k^2h^2} \right] \quad (16)$$

M_{eq} rovnovážná vlhkost dřeva (Equilibrium moisture content);

$W = 349 + 1,29T + 0,0135T^2$;

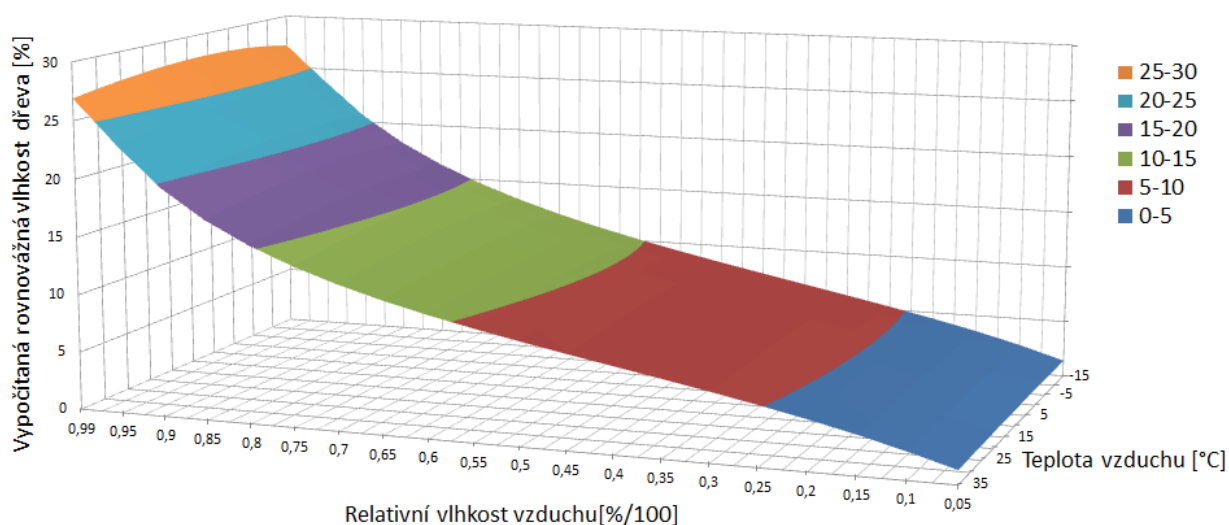
$k = 0,805 + 0,000736T - 0,00000273T^2$;

$k_1 = 6,27 + 0,00938T - 0,000303T^2$;

$k_2 = 1,91 + 0,0407T - 0,000239T^2$;

T teplota, ve °C;

h relativní vlhkost vzduchu, v %/100.



Graf 1 - Vypočítané rovnovážné vlhkosti dřeva dle Hailwood-Horrobinovy rovnice.

Takto získané výsledky pak byly posouzeny dle ČSN 730540-2, která na konstrukce a dřevěné prvky v nich zabudované klade několik požadavků. Tyto požadavky byly podrobně rozebrány v kapitole 1.5.3. Jedná se především o vyloučení kondenzace vodní páry v dřevěných prvcích a o to, zda rovnovážná vlhkost dřevěných prvků při průměrných měsíčních okrajových podmínkách nepřekračuje 18%.

3.3 Měření na reálné stavbě

Měření bylo prováděno s cílem získat představu o průběhu teplot ve zkoumaném detailu a zjistit, jak se v průběhu času mění vlhkost dřevěného prvku tvořící přesah střechy (v tomto případě průběžné krokve). Objekt, na kterém bylo měření prováděno, vlastní měřený detail a použitá měřicí technika jsou popsány dále v této kapitole.

3.3.1 Popis objektu

Měření bylo prováděno na jednopodlažním rodinném domě, který se nachází v obci Podolí v okrese Uherské Hradiště. Tato lokalita se nachází v nadmořské výšce 200m n. m. a spadá do II. větrné a II. sněhové oblasti. V domě, který byl vystavěn v roce 2009, bydlí čtyřčlenná rodina (rodiče a dvě malé děti). Objekt je zděný z pórobetonového zdiva Xella Ytong se 120mm zateplení z bílého fasádního EPS 70F a má půdorysný tvar L se zastavěnou plochou 110 m². Zastřešení je provedeno pomocí dvou pultových střech se sklony 14° a 17°. Na obou střechách je použit nadkroevní způsob zateplení. V prvním případě jsou přesahy střechy řešeny pomocí průběžné krokve a ve druhém pomocí jednoduchých námětků. Podrobné znázornění střechy je na výkrese č. 1 - viz příloha 11.



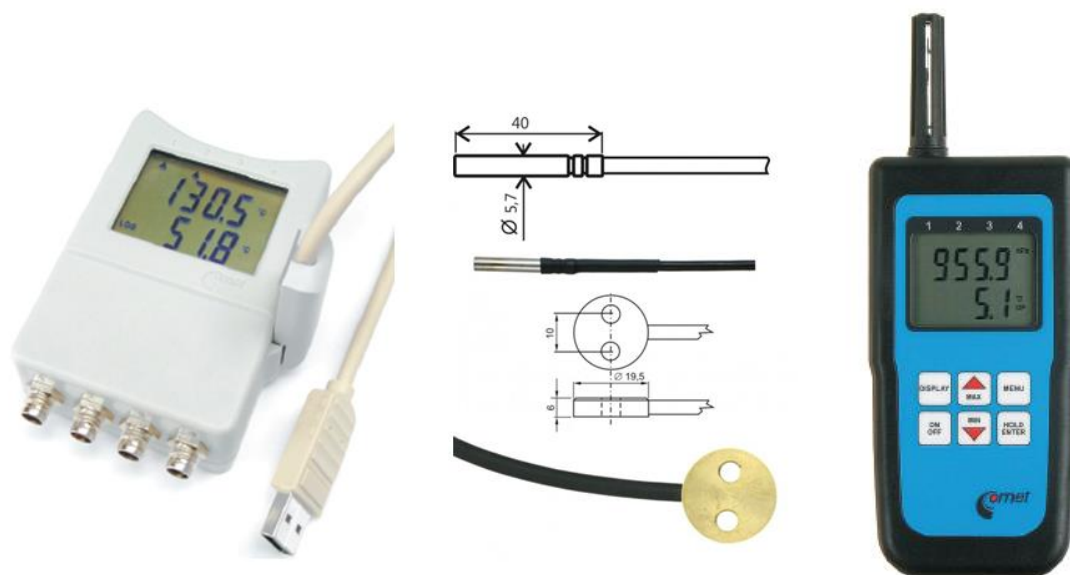
Obr. 10 - Označení měřeného detailu na sledované stavbě.

3.3.2 Vybraný detail

Pro měření byla vybrána průběžná krokev procházející z interiéru do exteriéru na hřebenové straně pultové střechy. Detaily skutečného provedení přesahů střechy vytvořených průběžnou krokvi jsou na výkresech č. 2 a 3 - viz příloha 11. Výhodou byla dobrá dostupnost detailu z druhé střechy. Ze strany interiéru se krokev nacházela v malé půdě, která slouží ke skladování sezónních věcí. Tato půda je napojena na dětský pokoj a technickou místnost, ze které je zpřístupněna.

3.3.3 Měřicí technika

Použitou měřicí techniku je možné rozdělit do dvou skupin. První skupinou je měřicí technika značky Comet. Celkově byly použity dva teploměr-vlhkoměry D3631 pro sledování vnitřního a venkovního vzduchu (konkrétně teploty a relativní vlhkosti) a 3 datalogery S0141 pro záznam teploty z externích sond. Jedná se o 4 kanálové teploměry, takže celkově mohla být zaznamenávána teplota na 12 různých místech. Oba druhy přístrojů jsou ukázány na Obr. 11. Kde jsou také oba typy používaných čidel pro měření teplot. Snímač teploty TG8 (uprostřed nahoře) byl využíván především pro měření teploty vzduchu ve vzduchových mezerách a v dutinách kolem krokve. Druhým typem snímačů teploty, s označením TG7 (uprostřed dole), byly měřeny povrchové teploty na krokvi. Technické listy ke všem zařízením Comet jsou v příloze P 8. Jak již bylo zmíněno, všechny tyto přístroje byly na měřené místo osazeny v březnu 2013. Rozmístění jednotlivých čidel je znázorněno na Obr. 26.



Obr. 11 – Používaná měřicí technika Comet

3.4 Konstrukce vlastního měřicího zařízení

V průběhu roku 2013 pak bylo ve spolupráci s EMS Brno vyvíjeno zařízení pro měření vlhkosti dřeva, které tvoří samostatně druhou skupinu měřících zařízení. Cílem bylo vytvořit multifunkční zařízení, které kromě sluneční radiace, teploty a vlhkosti vzduchu a povrchových teplot dokáže sledovat i teploty uvnitř průřezu dřevěných prvků (v tomto případě krokve) a hlavně dokáže měřit jejich vlhkost a to hned na několika místech najednou.

Při vývoji tohoto zařízení byly naměřené výsledky ověřovány přístrojem WHT-860, což je příložený hrotový vlhkoměr dřeva a stavebních materiálů. Právě na něm byla ověřena přesnost a limity odporové měřicí metody, na základě které tento vlhkoměr pracuje. Po dosažení uspokojivých výsledků bylo rozhodnuto, že i nově vyvíjené zařízení bude měřit vlhkost dřeva a stavebních materiálů obecně na základě odporové měřicí metody. Celý postup vývoje i s výsledky jednotlivých pokusů zmíněných výše je uveden v kapitole 4.4.



Obr. 12 - Příložený hrotový vlhkoměr dřeva a stavebních materiálů

3.5 Porovnání teoreticky získaných výsledků s praktickým měřením

Posledním krokem této práce bylo porovnání vypočítaných výsledků s měřením z reálné stavby. To bylo prováděno především pro ověření, nakolik jsou výpočtové teorie a výsledky získané teoretickým výpočtem shodné s realitou. Následně byly zjištěné odchylky analyzovány a byla zkoumána příčina jejich vzniku. Díky tomuto měření tedy mohl být vyhodnocen vliv jednotlivých zjednodušení a jevů, se kterými model nepočítá. Porovnávání byly jednak povrchové teploty na krokvi a jednak vlhkost vlastní krokve. Porovnání proběhlo

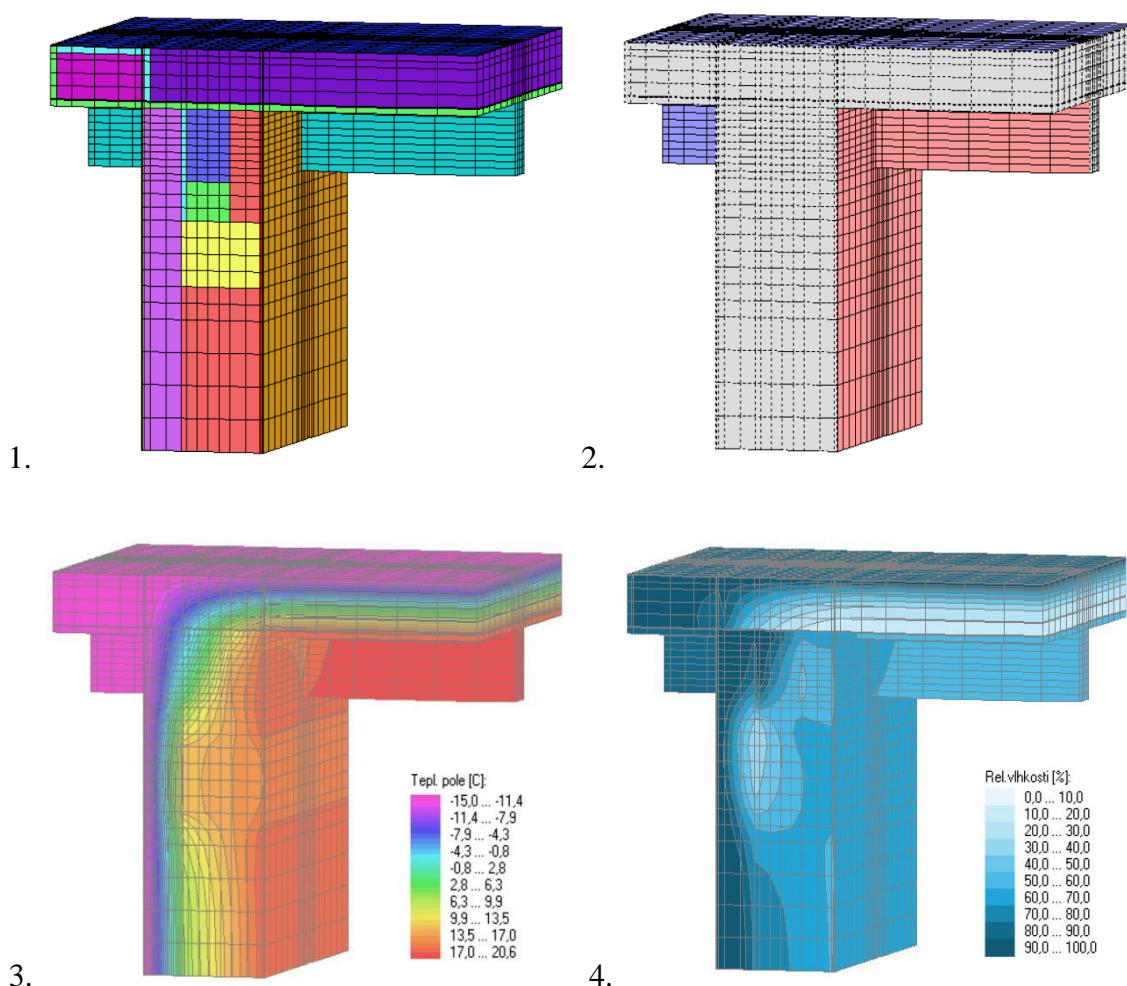
vždy ve všech měřených bodech krokve, kde ke změřeným hodnotám byla v každém bodě doplněna odpovídající hodnota získaná výpočtem.

4. VÝSLEDKY DIPLOMOVÉ PRÁCE

V této kapitole jsou uvedeny výsledky diplomové práce, které byly získány metodami uvedenými v kapitole 3. Pro přehlednost jsou rozděleny do pěti podkapitol dle vytyčených cílů diplomové práce.

4.1 Výpočetní model

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.1, pro vytvoření výpočetních modelů byl využit program Cube3D. Na Obr. 13. je ukázka detailu s průběžnou krokví. Horní částí je vidět vstup potřebný k vytvoření modelu, tedy proložení detailu soustavou pravoúhlých os a následné nadefinování jednotlivých materiálů a okrajových podmínek. Dolní částí jsou pak vidět výstupy potřebné pro další výpočty.



Obr. 13 – Příklad vytvořeného modelu a jeho výstupů: 1 - Zadaná geometrie modelu s definovanými materiály; 2 – Zadané okrajové podmínky; 3 – Výstup- teplotní pole; 4 - Výstup- pole relativních vlhkostí.

Zmiňovanými výstupy jsou především pole rozložení teplot a relativních vlhkostí po detailu, které jsou potřebné pro vlastní výpočet rovnovážné vlhkosti zabudovaných dřevěných prvků. Z modelu byly dále získány hodnoty teplotního faktoru vnitřního povrchu a hodnoty tepelných toků z interiéru do exteriéru sloužící pro výpočet bodových a lineárních činitelů prostupu tepla.

Všechny tyto výsledky mohou být do určité míry ovlivněny zjednodušeními, která byla při výpočtu provedena. Kromě zjednodušení geometrie, která byla popsána již dříve, model například počítá pouze s vedením tepla. Proudění je zohledněno pouze přestupy tepla na styku konstrukce se vzduchem. Jinak je ale v modelu počítáno s tím, že na sebe veškeré vrstvy dokonale přiléhají, nevznikají mezi nimi žádné vzduchové mezery (s výjimkou těch systémových) a jsou v celém objemu homogenní. Například tedy nejsou nijak zohledněny výsušné trhliny v dřevěných prvcích. Dále je v modelu zanedbaný vliv tepelného záření. Celý výpočet je pak stacionární, což znamená, že počítá s neměnnými průměrnými okrajovými podmínkami, konstantními hodnotami součinitele prostupu tepla, které se nemění například vlivem jejich aktuální vlhkosti apod.

4.2 Tepelně-vlhkostní posouzení

Posuzovány byly celkem 3 druhy detailů vytvoření přesahu střech u nadkrokevního systému zateplení. Každá varianta přitom byla posouzena pro dva různé standardy zateplení konstrukcí. V prvních dvou případech (průběžná krokev a jednoduchý námětek) byly skladby navrženy tak, aby splňovaly požadované hodnoty součinitele prostupu tepla v první variantě a hodnoty doporučené ve variantě druhé. U detailu vytvoření přesahu střechy pomocí dvojitého námetku byly pak konstrukce provedeny v doporučeném respektive v pasivním standardu, co se součinitele prostupu týče. Přehled posouzených skladeb uvádí Tabulka 9. Je zde uvedena i tloušťka tepelné izolace potřebná k dosažení těchto limitů. U skladby střechy je zateplení provedeno pomocí PIR desek položených na celoplošné bednění a u konstrukce stěny je vždy uvažováno s nosnou vrstvou z pórobetonového zdiva tl. 250mm a zateplení z EPS. Tento konstrukční systém byl zvolen podle objektu, na které probíhalo měření, aby získané výsledky byly lépe porovnatelné. Posouzení skladeb z hlediska šíření vodní páry a teplotního faktoru je v Tabulka 10. Podrobný výpočet je pak uveden v příloze P 3. K výpočtu byl využit Software pro stavební fyziku – Tepelná technika 1D. Systematické tepelné mosty, které jsou v obou případech tvořeny kotvícími prvky procházejícími vrstvou tepelné izolace, jsou zohledněny v přírážce ΔU .

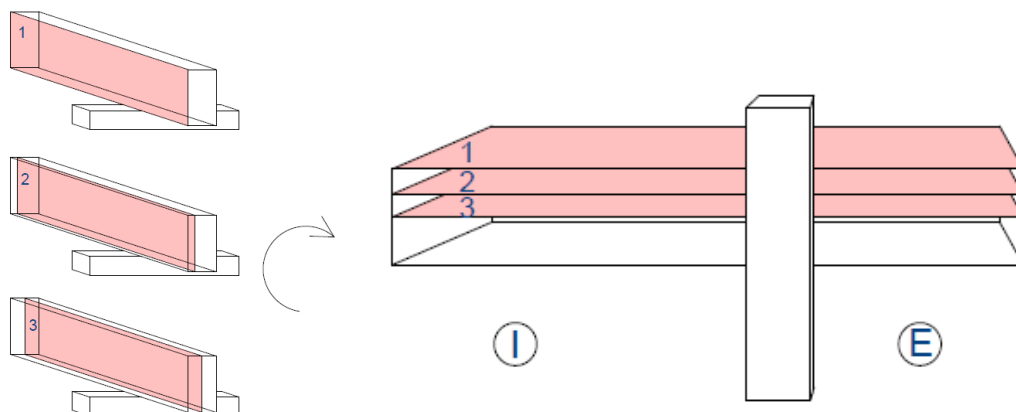
Tabulka 9 - Posouzení skladeb z hlediska součinitele prostupu tepla

Konstrukce			Součinitel prostupu tepla [W/m ² k]				
Ozn.	Popis	tl. TI [mm]	U _N	U _{rec}	U _{pas}	U	Hod.
1	Střecha - požadované zateplení	100	0,24	0,16	0,15-0,1	0,24	+Pož
2	Střecha - doporučené zateplení	160	0,24	0,16	0,15-0,1	0,15	+Dop
3	Střecha - pasivní standard zateplení	220	0,24	0,16	0,15-0,1	0,11	+Pas
4	Stěna - požadované zateplení	80	0,3	0,25	0,18-0,12	0,28	+Pož
5	Stěna - doporučené zateplení	120	0,3	0,25	0,18-0,12	0,23	+Dop
6	Stěna - pasivní standard zateplení	200	0,3	0,25	0,18-0,12	0,16	+Pas

Tabulka 10 - Posouzení skladeb z hlediska šíření vodní páry a tep. faktoru vnitř. povrchu

Ozn.	Teplotní faktor			Šíření vodní páry			
	f _{Rsi,N} [-]	f _{Rsi} [-]	Hodnocení	M _c [kg/(m ² .a)]	M _{c,N} [kg/(m ² .a)]	Hodnocení	Bilance
1	0,747	0,943	+	0	0,1	+	+
2	0,747	0,963	+	0	0,1	+	+
3	0,747	0,973	+	0	0,1	+	+
4	0,747	0,932	+	0,032	0,096	+	+
5	0,747	0,943	+	0,021	0,1	+	+
6	0,747	0,96	+	0,013	0,1	+	+

Tepelně- technické posouzení jednotlivých detailů je vždy shrnuto v přehledové tabulce, kde jsou vedle sebe porovnány různé varianty zateplení stejného detailu. Pod touto tabulkou je pak vlhkostní posouzení dřevěných prvků, které jsou v detailu zabudované. Jak je ukázáno níže, právě splnění těchto požadavků bývá mnohdy obtížnější. U jednotlivých variant je vždy pro lepší ze dvou standardů zateplení uveden obrázek ukazující průběh relativní vlhkosti v průřezu krokve (popř. námětku), vyhodnoceno, zda v průřezu dochází ke kondenzaci a ukázána dopočítaná rovnovážná vlhkost ve třech svislých řezových rovinách daného nosného prvku vytvoření přesahu střechy.



Obr. 14 - Schéma ukazující řezové roviny, ve kterých je dopočítána RVD

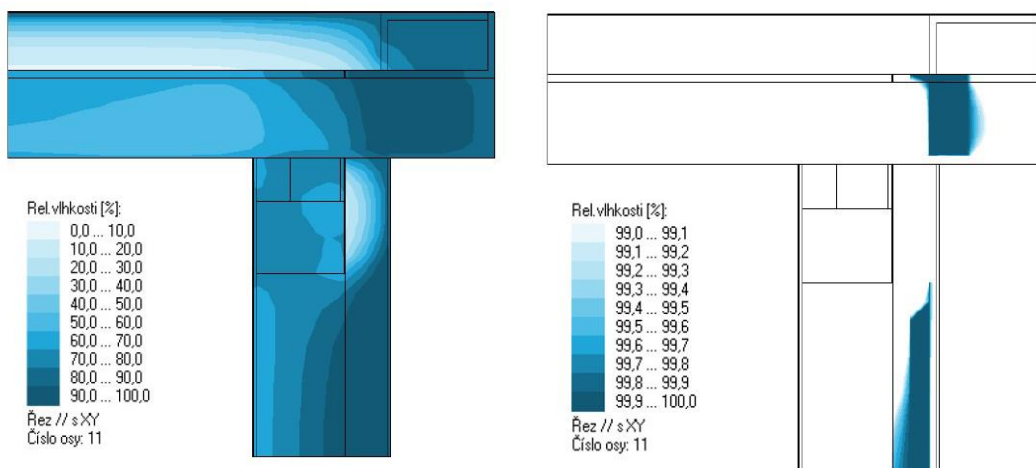
4.2.1 Detail s průběžnou krokví

Modelovaný detail vychází z detailu měřeného, který je znázorněn na výkresu č. 2. Pouze parozábrana byla ukončena na železobetonovém věnci a byla provedena z asfaltového pásu s hliníkovou vložkou. Dále byla pro zlepšení vlhkostních podmínek v detailu vypuštěna minerální vata nad pozednicí. Detail připravený pro zadání do programu Cube3D je ukázán v příloze P 4. Vstupní hodnoty pro výpočty, materiálové vlastnosti a okrajové podmínky jsou k nahlédnutí v příloze P 5.

Tabulka 11 – Vyhodnocení detailu s průběžnou krokví.

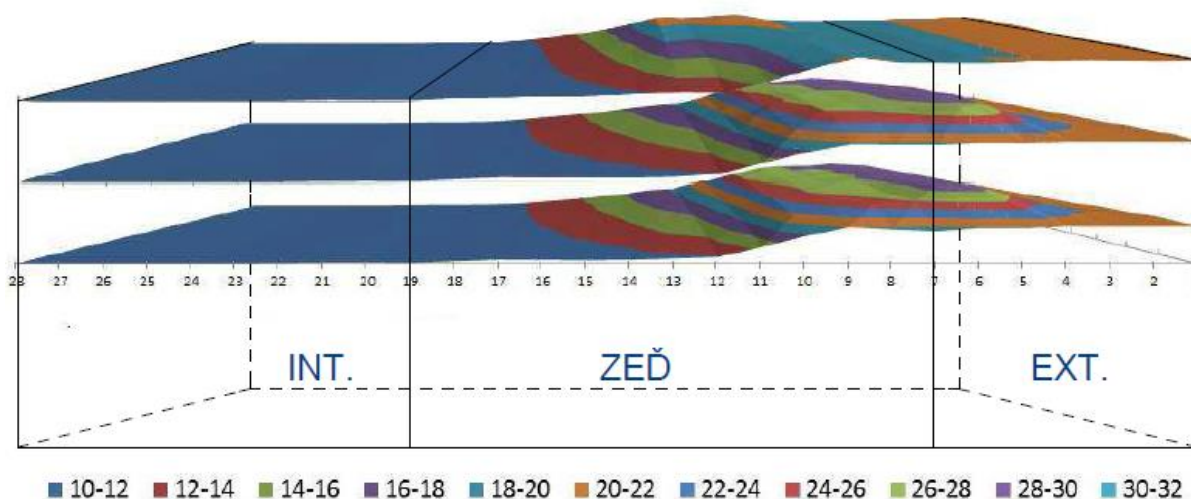
Požadovaný standard zateplení			Doporučený standard zateplení		
Teplotní faktor vnitřního povrchu					
$f_{Rsi,N}$ [-]	f_{Rsi} [-]	Hodnocení	$f_{Rsi,N}$ [-]	f_{Rsi} [-]	Hodnocení
0,747	0,842	+	0,747	0,878	+
Vlhkostní poměry v detailu - Extrémní návrhové podmínky					
Množství kond. vodní páry [kg/s]		6,20E-08	Množství kond. vodní páry [kg/s]		4,60E-08
Zkond. množství za týden [kg]		0,037	Zkond. množství za týden [kg]		0,028
Posouzení vlhkostních poměrů v detailu - Roční bilance					
Měsíc	Akt. míra kond./vypař. g [kg/s]	Akum. kondenzát Ma [kg]	Měsíc	Akt. míra kond./vypař. g [kg/s]	Akum. kondenzát Ma [kg]
12	3,07E-10	0,0008	12	9,35E-11	0,0003
1	7,24E-10	0,0028	1	1,80E-10	0,0007
2	1,41E-10	0,0031	2	5,88E-11	0,0009
3	-3,67E-09	0	3	-4,21E-10	0
4	-	-	4	-	-
5	-	-	5	-	-
6	-	-	6	-	-
7	-	-	7	-	-
8	-	-	8	-	-
9	-	-	9	-	-
10	-	-	10	-	-
11	-	-	11	-	-
Na konci modelového roku je datil suchý			Na konci modelového roku je datil suchý		
Činitelé prostupu tepla					
Propustnost L_{1D} [W/K]		0,710	Propustnost L_{1D} [W/K]		0,529
Propustnost L_{2D} [W/K]		0,864	Propustnost L_{2D} [W/K]		0,634
Propustnost L_{3D} [W/K]		0,881	Propustnost L_{3D} [W/K]		0,652
Ψ_N [W/(mK)]	Ψ [W/(mK)]	Hodnocení	Ψ_N [W/(mK)]	Ψ [W/(mK)]	Hodnocení
0,2	0,154	+	0,1	0,105	+ pož.
χ_N [W/K]	χ [W/K]	Hodnocení	χ_N [W/K]	χ [W/K]	Hodnocení
0,4	0,017	+	0,1	0,018	+

Kondenzace zde byla posuzována stejně jako u ostatních detailů v rámci roční bilance při zadání průměrných měsíčních okrajových podmínek a také zde bylo počítáno množství kondenzátu, který by v konstrukci vznikl během týden trvajících extrémních návrhových hodnot.



Obr. 15 – Průběh relativních vlhkostí při extrémních návrhových podmínkách středem průběžné krokve a ukázané oblasti kondenzace.

Na snímcích je zřejmé, že při extrémních zimních návrhových podmínkách dochází v krokvi ke kondenzaci. Obrázek níže zase ukazuje, že rovnovážná vlhkost krokve při průměrných lednových podmínkách je uprostřed průřezu při přestupu ze stěny do exteriéru až 29%. Ani jedna z podmínek na zabudování dřevěných prvků do konstrukce tedy není splněna.



Obr. 16 – Rovnovážná vlhkost průběžné krokve při průměrných návrhových podmínkách

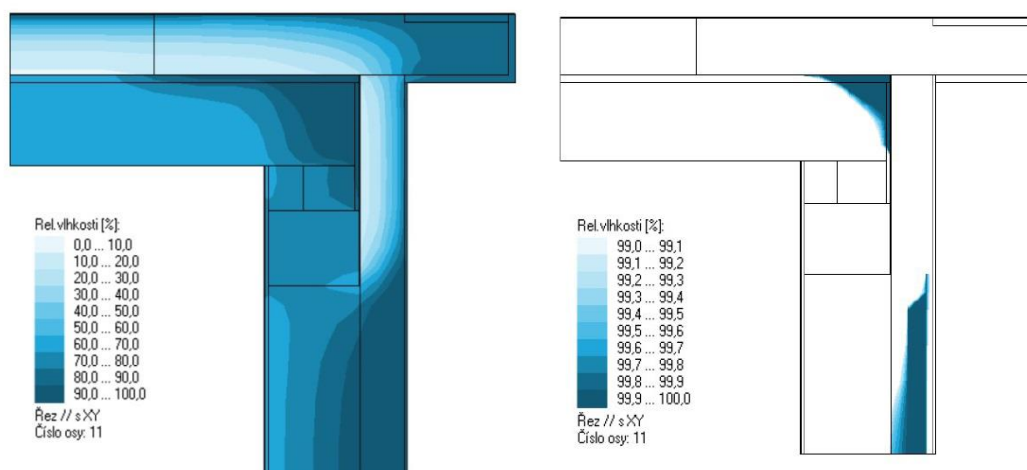
4.2.2 Detail s krokevním námětkem

Tento detail je variací detailu předešlého s tím rozdílem, že zde bylo vyložení přesahu provedeno krokevním námětkem. Kromě této změny bylo vše ponecháno stejné jako v předchozím případě. Jednotlivé materiály, tloušťky tepelných izolací apod. tedy byly pro možnost lepšího porovnání obou řešení ponechány bez změny, jak je to zobrazeno na výkrese č. 9. Detail připravený pro zadání do programu Cube3D je ukázán v příloze P 4. Celý systém vyhodnocení je rovněž stejný, jako v předchozím případě.

Tabulka 12 – Vyhodnocení detailu s krokevním námětkem.¹¹

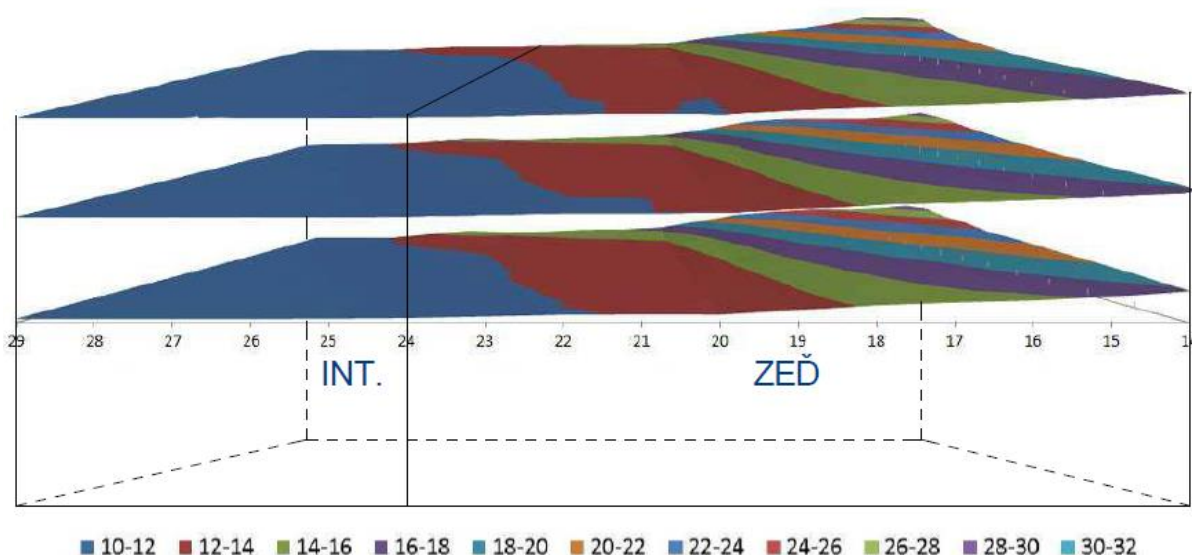
Požadovaný standard zateplení			Doporučený standard zateplení		
Teplotní faktor vnitřního povrchu					
f _{Rsi,N} [-]	f _{Rsi} [-]	Hodnocení	f _{Rsi,N} [-]	f _{Rsi} [-]	Hodnocení
0,747	0,752	+	0,747	0,806	+
Vhkoštní poměry v detailu - Extrémní návrhové podmínky					
Množství kond. vodní páry [kg/s]		5,80E-08	Množství kond. vodní páry [kg/s]		3,60E-08
Zkond. množství za týden [kg]		0,035	Zkond. množství za týden [kg]		0,022
Posouzení vhoštních poměrů v detailu - Roční bilance					
Měsíc	Akt. míra kond./vypař. g [kg/s]	Akum. kondenzát Ma [kg]	Měsíc	Akt. míra kond./vypař. g [kg/s]	Akum. kondenzát Ma [kg]
11	8,49E-11	0,0002	11	1,08E-11	0
12	1,80E-10	0,0007	12	6,97E-11	0,0002
1	2,00E-10	0,0012	1	7,19E-11	0,0004
2	1,71E-10	0,0017	2	6,45E-11	0,0005
3	-3,84E-11	0,0015	3	1,11E-11	0,0006
4	-3,37E-10	0,0007	4	-8,17E-11	0,0004
5	-5,83E-10	0	5	-1,28E-10	0
6	-	-	6	-1,81E-10	0
7	-	-	7		-
8	-	-	8		-
9	-	-	9		-
10	-	-	10		-
Na konci modelového roku je datil suchý			Na konci modelového roku je datil suchý		
Činitelé prostupu tepla					
Propustnost L _{1D} [W/K]		0,710	Propustnost L _{1D} [W/K]		0,529
Propustnost L _{2D} [W/K]		0,852	Propustnost L _{2D} [W/K]		0,621
Propustnost L _{3D} [W/K]		0,898	Propustnost L _{3D} [W/K]		0,66
Ψ _N [W/(mK)]	Ψ [W/(mK)]	Hodnocení	Ψ _N [W/(mK)]	Ψ [W/(mK)]	Hodnocení
0,2	0,142	+	0,1	0,092	+
χ _N [W/K]	χ[W/K]	Hodnocení	χ _N [W/K]	χ[W/K]	Hodnocení
0,4	0,046	+	0,1	0,039	+

¹¹ Splnění požadavku na minimální teplotní faktor vnitřního povrchu není u požadovaných hodnot u štitového přesahu zaručeno, viz. kapitola 3.1.2. Výpočet by bylo vhodné ověřit na modelu se skutečnou geometrií.



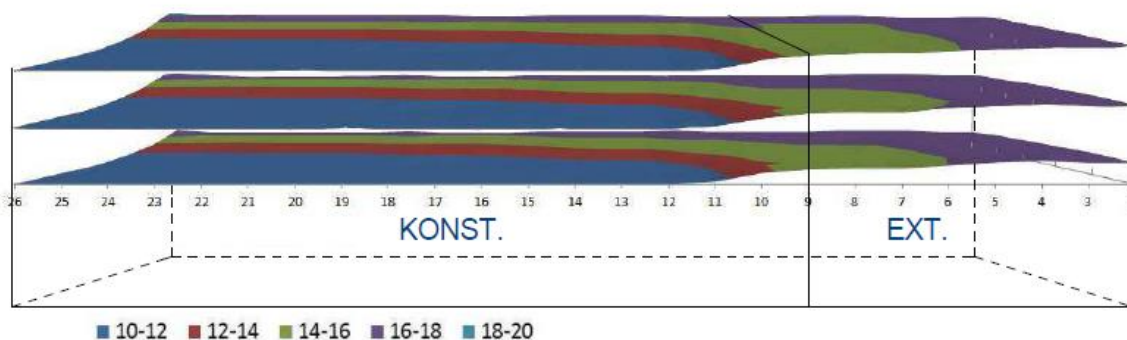
Obr. 17 – Průběh relativních vlhkostí při extrémních návrhových podmínkách středem krokve a ukázané oblasti kondenzace.

Z průběhů relativních vlhkostí je opět zřejmé, že při extrémních návrhových podmínkách dochází ke kondenzaci v horním konci krokve před parozábranou. To je zapříčineno především přízdívkou z pórobetonového zdiva na straně interiéru, která má za příčinu snížení teploty v konci krokve. Ukazuje se tedy, že odebrání samotné tepelné izolace z MW, která byla v původním měřeném detailu nad pozednicí nebylo dostatečné. Při porovnání s detailem s průběžnou krokví by zde při doporučeném standardu zateplení bylo množství kondenzátu o více než 20% nižší (o 5% u požadovaného standardu zateplení). Z tepelně-technického hlediska vychází tepelná ztráta tímto detailem o více než 6% (resp. 9% u pož.) vyšší.



Obr. 18 - Rovnovážná vlhkost krokve při průměrných návrhových podmínkách

Co se rovnovážných vlhkostí zabudovaných dřevěných prvků týká, tak u krokve je hranice 18% opět překročena (byť v podstatně menším objemu než v prvním případě. Maximální hodnoty v horním rohu krokve dosahují až k 28%. Naopak námětek, který tvoří přesah střechy, splňuje obě vlhkostní kritéria. V prvku nedochází ani při extrémních návrhových podmínkách ke kondenzaci a jeho rovnovážná vlhkost se drží pod hranicí 18%.



Obr. 19 - Rovnovážná vlhkost námětku při průměrných návrhových podmínkách

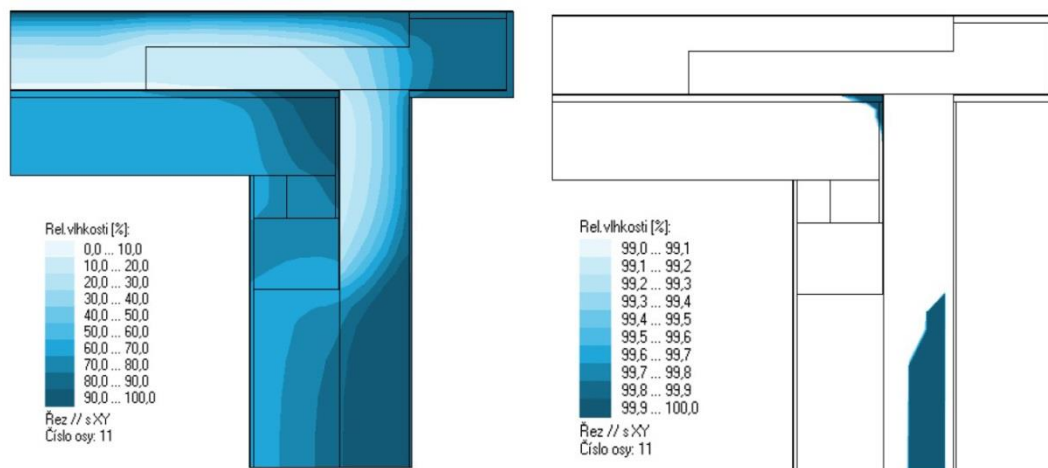
4.2.3 Detail s dvojitým krokevním námětkem

Vytvoření přesahu střechy pomocí dvojitého krokevního námětku má za cíl především snížení tepelných ztrát tímto detailem a zároveň i zlepšení jeho vlhkostních podmínek.

Tabulka 13 – Vyhodnocení detailu s dvojitým námětkem.

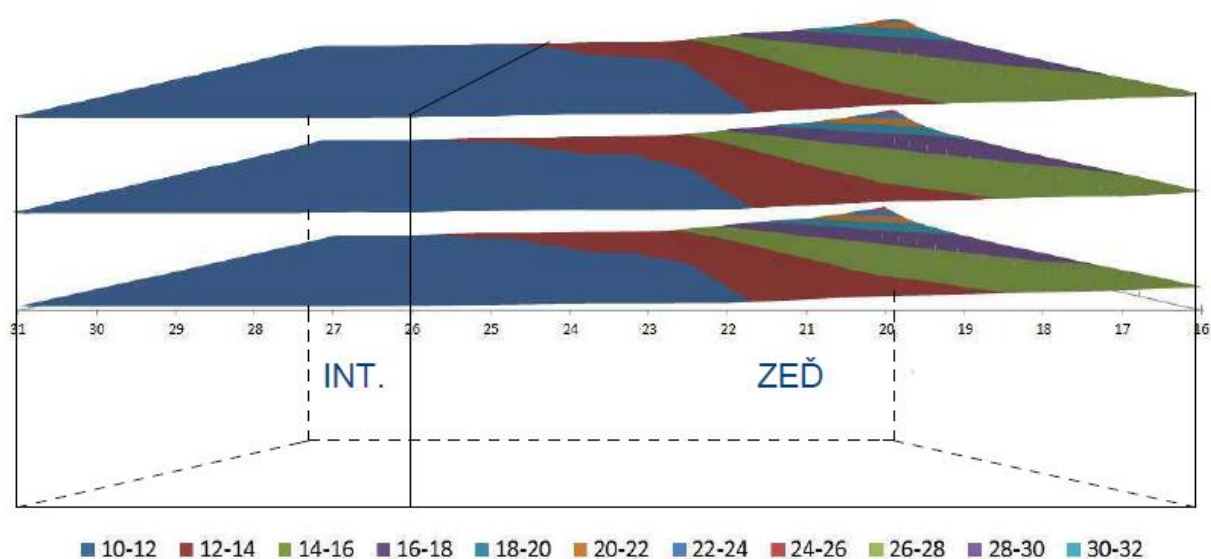
Doporučený standard zateplení			Pasivní		
Teplotní faktor vnitřního povrchu					
f _{Rsi,N} [-]	f _{Rsi} [-]	Hodnocení	f _{Rsi,N} [-]	f _{Rsi} [-]	Hodnocení
0,747	0,871	+	0,747	0,899	+
Vlhkostní poměry v detailu - Extrémní návrhové podmínky					
Množství kond. vodní páry [kg/s]		3,40E-08	Množství kond. vodní páry [kg/s]		1,30E-08
Zkond. množství za týden [kg]		0,02	Zkond. množství za týden [kg]		0,008
Posouzení vlhkostních poměrů v detailu - Roční bilance					
Během modelového roku nedochází v konstrukci během průměrných měsíčních okrajových podmínek ke kondenzaci vodní páry			Během modelového roku nedochází v konstrukci během průměrných měsíčních okrajových podmínek ke kondenzaci vodní páry		
Činitelé prostupu tepla					
Propustnost L _{ID} [W/K]		0,529	Propustnost L _{ID} [W/K]		0,374
Propustnost L _{2D} [W/K]		0,62	Propustnost L _{2D} [W/K]		0,441
Propustnost L _{3D} [W/K]		0,641	Propustnost L _{3D} [W/K]		0,456
Ψ _N [W/(mK)]	Ψ [W/(mK)]	Hodnocení	Ψ _N [W/(mK)]	Ψ [W/(mK)]	Hodnocení
0,1	0,091	+	0,05	0,067	+ dop
χ _N [W/K]	χ[W/K]	Hodnocení	χ _N [W/K]	χ[W/K]	Hodnocení
0,1	0,021	+	0,02	0,015	+

Jak již bylo uvedeno dříve, střecha je v tomto případě zateplena minimálně dvěma vrstvami tepelné izolace, přičemž klasické námětky jsou provedeny v rovině první vrstvy TI a ještě jsou překryty vrstvou druhou. Toto řešení je k vidění na výkrese č. 9. Detail připravený pro zadání do programu Cube3D je opět ukázán v příloze P 4.



Obr. 20 - Průběh relativních vlhkostí při extrémních návrhových podmínkách středem krokve a ukázané oblasti kondenzace.

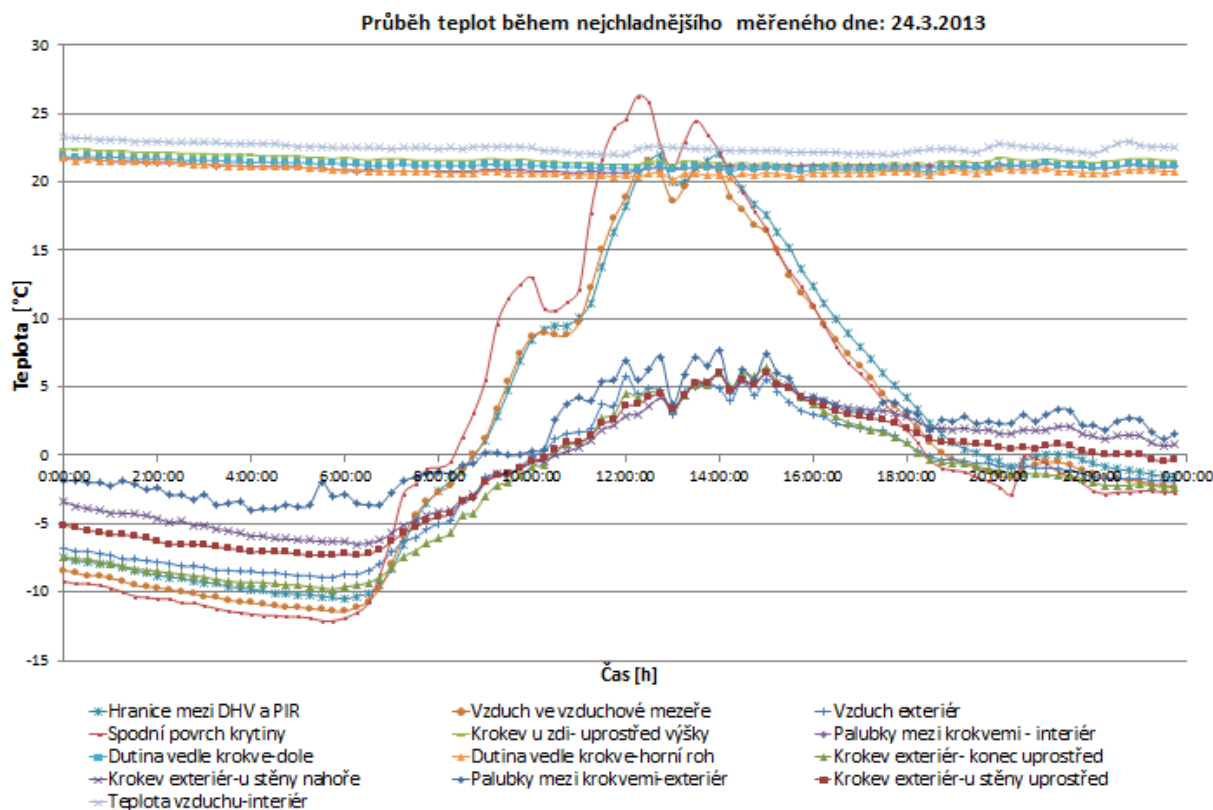
Z průběhů relativních vlhkostí je patrné, že vlhkostní situace v detailu se zlepšila, ale i u konstrukcí, které byly zateplené na hodnoty pasivního standardu, dochází k nepatrné kondenzaci (při týden trvajících extrémech by zde zkondenzovalo 8ml vodní páry). Rovnovážná vlhkost krokve opět na horním konci krokve přesahuje hodnotu 18% a dosahuje RVD až 24%. Krokevní námětek i v tomto případě oba limity splňuje.



Obr. 21 - Rovnovážná vlhkost krokve při průměrných návrhových podmínkách

4.3 Měření na reálné stavbě

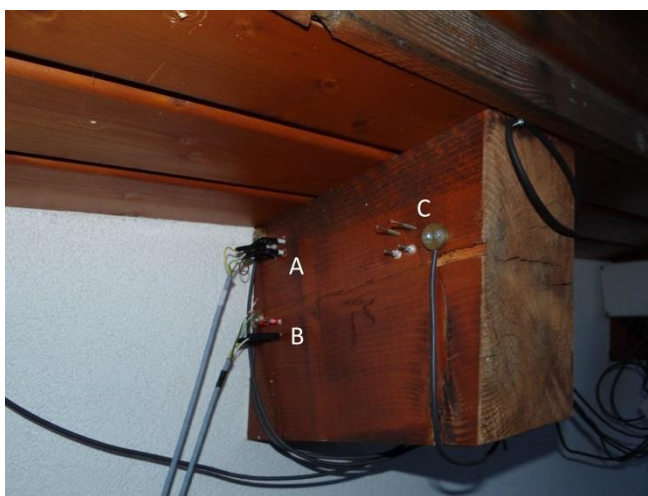
Měření bylo zahájeno v březnu roku 2013, kdy byla na objekt osazena čidla na měření povrchových teplot a zařízení pro měření teploty a vlhkosti vzduchu v interiéru i exteriéru. Celkem bylo v tomto detailu osazeno v první fázi 12 čidel, které měří povrchové teploty na krokvi a teploty vzduchu v různých místech kolem ní. Rozmístění jednotlivých čidel je zobrazeno na Obr. 26. Měření bylo prováděno jak pro získání dlouhodobých průměrných teplotních a vlhkostních dat, tak i pro monitorování chování detailu během dne. Poměrně velké množství měřících bodů umožnilo důkladné sledování detailu a poukázalo na některé více či méně známé skutečnosti. Například na Graf 2, který ukazuje průběh teplot během jednoho vybraného dne z měsíce března, je možné si všimnout, že teplota vzduchu ve vzduchové mezeře a zejména teplota spodního líce pálených tašek je během noci i o několik stupňů nižší než teplota venkovního vzduchu, což je nejspíš důsledek dlouhodobného záření. Během dne zde pak teplota naopak výrazně vzroste, takže dosahuje až hodnot teplot interiérového vzduchu. Nutno dodat, že u měřené stavby není vzduchová vrstva mezi DHV a střešními taškami dostatečně provětrávaná, což vzniklým extrémům jistě výrazně napomáhá.



Graf 2 – Průběhy teplot na průběžné krokvi a jejím okolí během jednoho dne.

Dalším příkladem je povrchová teplota bednění z palubek mezi krokvy. Ta byla vyšší, než by se dalo očekávat. Toto bude hlouběji probráno v kapitole 4.5. Fotodokumentace z montáže čidel se nachází v příloze P 6.

Ve druhé fázi byly na krokev ze strany exteriéru přidány čidla na měření teploty uvnitř průřezu a na měření vlhkosti dřeva. Vlhkost dřeva byla měřena jak na povrchu, tak i uprostřed průřezu (v hloubce cca 5,5cm). Rozmístění čidel odpovídalo zhruba rozmístěním čidel na měření povrchové teploty. Pro 3 místa na krokvi tak byly získány hodnoty teplot a vlhkosti dřevěného prvku na povrchu i uprostřed průřezu, které pak mohly být porovnány s výsledky získanými výpočty.



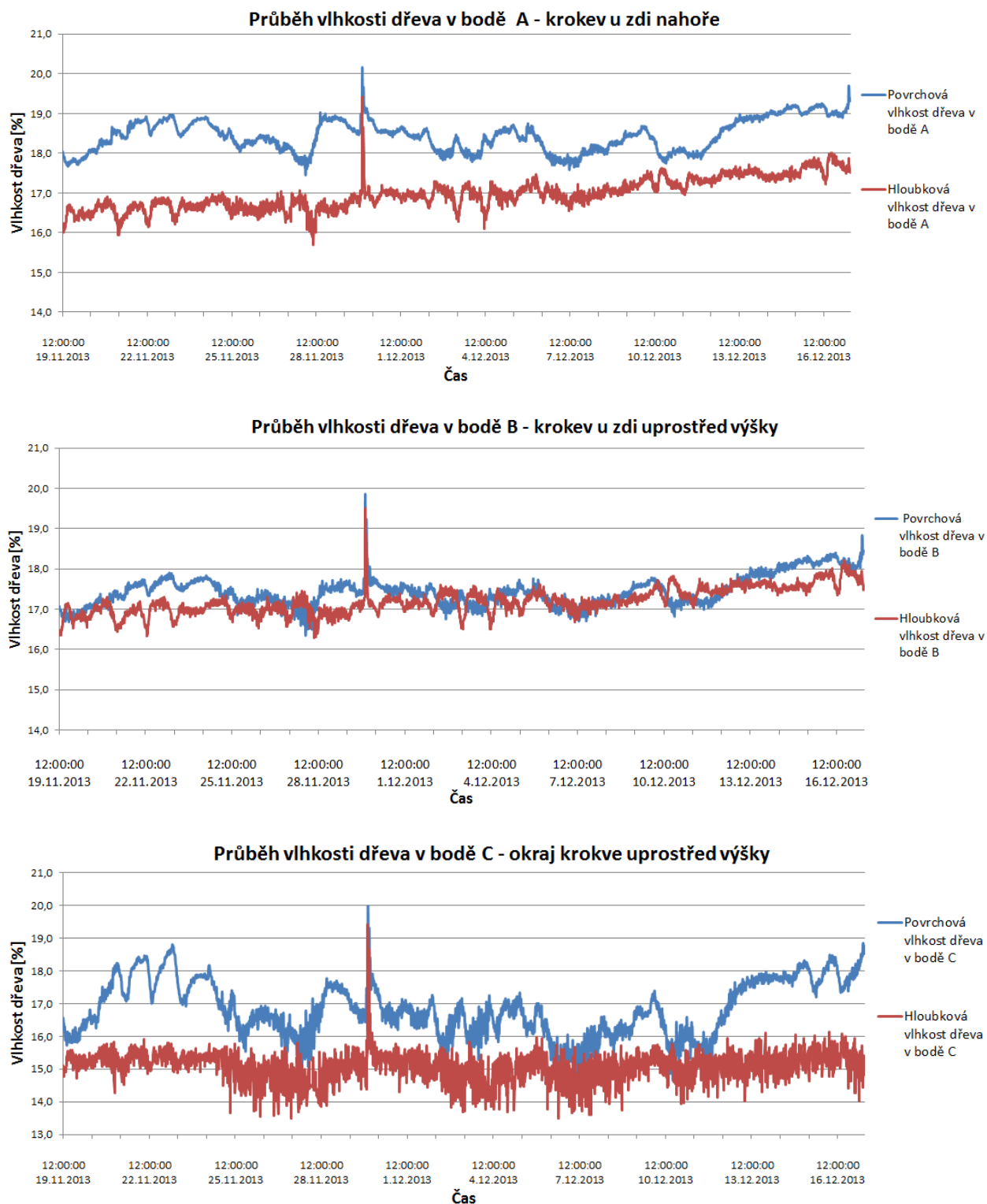
Obr. 22 - Poloha bodů, ve kterých probíhalo měření vlhkosti dřeva

Fotodokumentace z druhé fáze montáže čidel je v příloze P 7. Celkový pohled na osazenou měřicí techniku ze strany exteriéru nabízí Obr. 23.



Obr. 23 – Pohled na všechna osazená měřicí zařízení osazené v exteriéru.

Výsledky dlouhodobého měření vlhkosti v jednotlivých bodech průběžné krokve jsou vykresleny na následujících grafech:

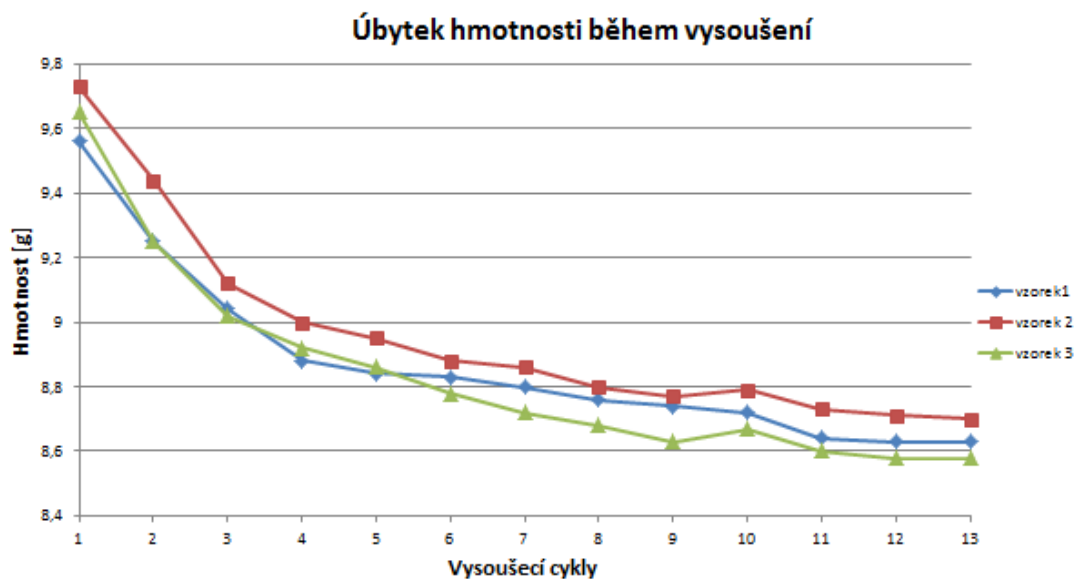


Graf 3 - Průběhy vlhkosti dřeva v bodech A-C na průběžné krokvi: Povrchové vlhkosti dřeva – modře; Vlhkosti uprostřed průřezu - červeně

Z grafů je patrná jistá narůstající tendence vlhkosti uprostřed průřezu a to zejména v bodech A a B. Povrchová vlhkost je podle očekávání více závislá na povětrnostních podmínkách a její kolísání je výraznější. Další zajímavostí v grafech jsou hodnoty ze třetí hodiny ranní z 30. listopadu, kdy najednou všechna čidla shodně naměřila výrazně vyšší hodnoty. Příčina těchto anomálií není zcela jasná, nejspíš se ale jednalo o závadu při měření, neboť aby se takto prudce změnila vlhkost i uprostřed průřezu je téměř vyloučené. Čím byla tato závada způsobena, zda nějakými extrémními povětrnostními podmínkami nebo něčím úplně jiným, je také nejasné.

4.4 Konstrukce vlastního měřicího zařízení

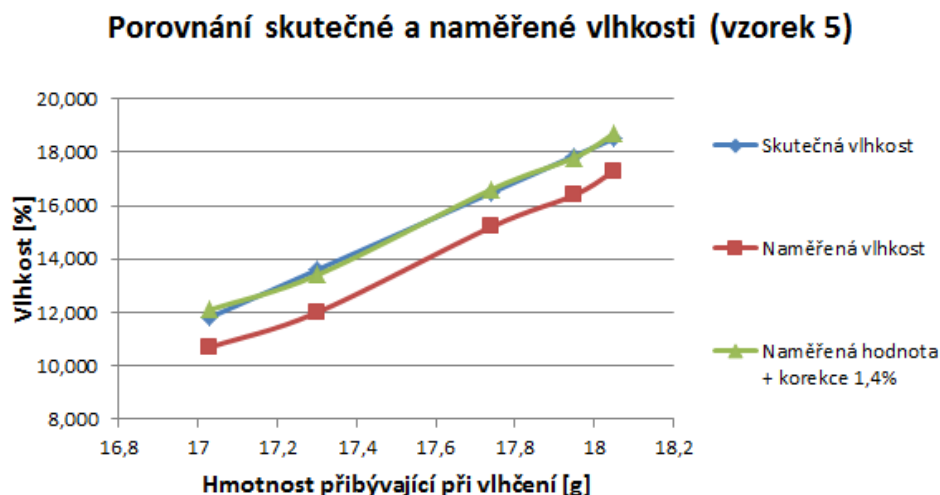
Prvním krokem při návrhu přístroje bylo zvolení principu měření vlhkosti dřeva. Nakonec bylo přistoupeno k založení přístroje na odporové měřicí metodě. Rozhodnutí bylo založeno na uspokojivých výsledcích z testování příložného přístroje WHT-860, který jsme ověřovali gravimetrickou metodou. Celkem bylo pro tuto zkoušku připraveno 15 vzorků ze smrkového dřeva, které byly postupně vysušeny, aby byla zjištěna jejich hmotnost v suchém stavu (Fotodokumentace k přípravě vzorků a provádění gravimetrické zkoušky je v příloze P 9).



Graf 4 – Průběh vysoušení vzorků

Po zjištění hmotnosti vzorků v suchém stavu započalo jejich zpětné vlhčení v exikátoru a po určitých časových intervalech byly vzorky převažovány a byla dopočítávána jejich skutečná vlhkost, která byla porovnávána s hodnotami získanými přístrojem WHT-860. Rozměry vzorků byly poměrně subtilní (tloušťky 10-20mm) z důvodu dosažení rovnoměrné vlhkosti v celém objemu během vlhčení. Nevýhoda s tím spojená byla ta, že jejich vlhkost

musela být měřena kolmo k vláknům, čímž došlo ke drobnému zkreslení naměřených hodnot. Měřením na větších vzorcích (60x60x80mm) byla zjištěna průměrná hodnota rozdílu mezi měřením podél a napříč vláken 1,4%. Po korekci naměřených hodnot touto hodnotou byly výsledky téměř totožné s gravimetrickou metodou – viz Graf 5.



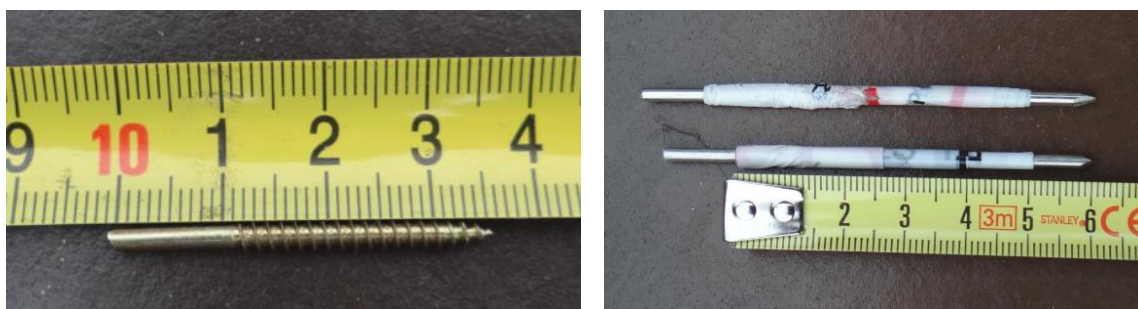
Graf 5 – Porovnání naměřených hodnot přístrojem WHT-860 s gravimetrickou metodou

Během zkoušení přístroje WHT-860 byla také objevena některá omezení odporové měřicí metody. Jedná se především o nestabilitu naměřených hodnot u vlhkostí pod 10% a nad 40% vlhkosti dřeva. Tato nestabilita se vysvětluje při pohledu na kalibrační křivku, kterou má autor k dispozici. Ta je v nižších vlhkostech dost strmá a měří se obrovské hodnoty odporů v řádech GOhm a vyšších. Naopak při vyšších vlhkostech je křivka velmi pozvolná a vlhkost se tedy výrazně mění i při relativně malé změně odporu.

Právě tvorba kalibrační křivky byl další úkol podmiňující úspěšné uvedení přístroje do provozu. Měřením vzorků smrkového dřeva o známé vlhkosti byly postupně k jednotlivým hodnotám naměřeného elektrického odporu přiřazovány odpovídající hodnoty vlhkosti dřeva. K jejímu ověření byl využit gravimetrickou metodou otestovaný přístroj WHT-860. Při kalibraci přístroje bylo také nutné zohlednit závislosti elektrického odporu na teplotě a druhu měřené dřeviny popř. jiného materiálu. Různé kalibrační křivky tedy bylo nutné vytvořit pro všechny teploty, ve kterých se měření bude odehrávat. Převodní tabulka pro ostatní dřeviny a další materiály je uvedena v příloze P 10.

Posledním krokem vývoje bylo vytvoření měřících elektrod, které se budou zabudovávat do měřených dřevěných prvků. Testováno bylo několik různých variant a způsobu zabudování. Nejlepšími se ukázaly elektrody tyčového charakteru. Ty byly pro povrchové měření vyrobeny z vrutů 3/35mm, které byly zavrtávány do hloubky 1cm. Vruty byly zvoleny

především proto, že v dřevěném prvku lépe drží i při aplikaci do malé hloubky. Pro hloubkové měření byly elektrody vyrobeny z drátu $\varnothing 2,4\text{mm}$. Odizolování dráku bylo provedeno nátěrem a pojištěno navíc oblepením izolační páskou.



Obr. 24 – Povrchová a hloubkové elektrody

Délka těchto elektrod se vždy přizpůsobí podle hloubky, ve které má být vlhkost měřena. Při aplikaci těchto elektrod se provede předvrtání vrtákem $\varnothing 3\text{mm}$, aby se zabránilo stažení pásky z dráku. Hloubka předvrtání odpovídá přesně délce odizolované části zaražené v dřevěném prvku. Měření pak probíhá neodizolovaným hrotem délky 1cm, který je zaražen do nepředvrtané hmoty prvku. Na oba typy elektrod jsou pak pomocí elektrikářské svorkovnice napojeny na stíněné kabely vedoucí do měřícího zařízení. Celý detail napojení je utěsněn pomocí izolační pásky, která je přetažena smršťovací tubou, jak znázorňuje Obr. 25.



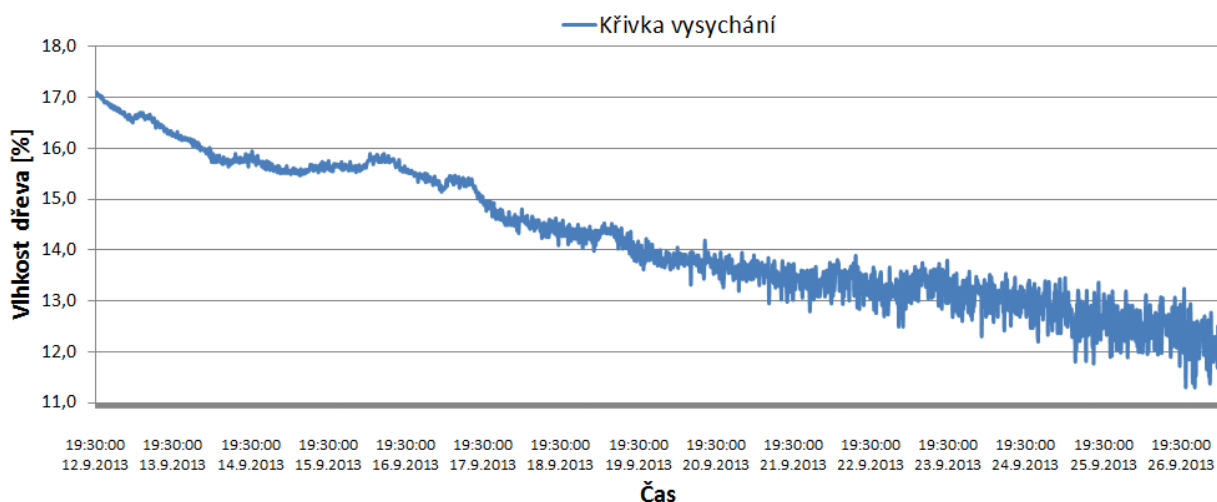
Obr. 25 – Konečná úprava napojení elektrod

4.4.1 Zkoušky měření vytvořeného měřícího zařízení

Po zkompletování měřícího zařízení byla provedena série testů, pro zjištění přesnosti měřícího zařízení a ověření jeho limitů. V prvním kole bylo opět využito gravimetrické metody. Tentokrát bylo vybráno několik různě vlhkých vzorků dřeva, které byly dlouhodobě saturovány za odlišných podmínek (exikátor, běžné pokojové podmínky, lednice, mrazák), a byla nejprve naměřena jejich vlhkost pomocí nově zkonstruovaného měřícího zařízení. Následně byly vzorky zváženy a započalo jejich vysoušení. Po úplném vysoušení byla

dopočítána jejich původní vlhkost pomocí gravimetrické metody. Výsledná průměrná odchylka mezi oběma přístupy pak byla +0,9% vlhkosti dřeva. Přičemž minimální odchylka byla +0,2% a ta maximální +1,7% (ta byla naměřena u vzorku, který měl dle gravimetrické metody vlhkost 8,3%, takže větší odchylka byla způsobena měřením vzorku s vlhkostí za hranicí měřitelnosti). Všechny naměřené hodnoty tedy byly vyšší než ty dopočítané pomocí gravimetrické metody.

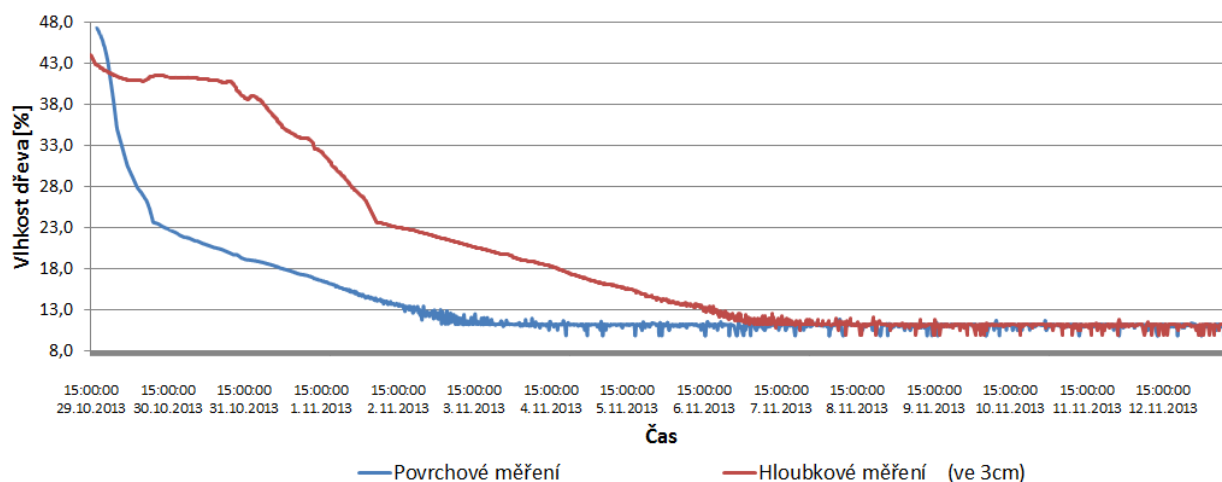
V dalších fázích testování byly dlouhodobě měřeny vysychající dřevěné vzorky. Během prvního testu, který dokumentuje Graf 6, bylo hlavním účelem ověření měřitelnosti ve vlhkostech dřeva pod 15%. Pro měření byl vybrán vzorek, který byl šest týdnů umístěn v exikátoru, kde se ustálil na rovnovážné vlhkosti 17%. Z grafu pak vyplývá, že během vysoušení vzorku se zvyšovala nestabilita měření. To bylo do cca 13,5% vlhkosti dřeva (400 MOhm) relativně ustálené. Od této hodnoty se začínala amplituda odchylky výrazněji zvyšovat. Dalšími měřeními bylo zjištěno, že hodnota cca 10% vlhkosti dřeva (4500 MOhm) je jakousi „hranicí měřitelnosti“, při které se občas začínají objevovat výrazně odchýlené hodnoty elektrického odporu a tedy i vlhkosti dřeva.



Graf 6 – Měření dlouhodobého vysychání vzorku

Druhý test týkající se dlouhodobého měření vysychajícího vzorku dřeva byl spojen s testováním elektrod pro povrchové a hloubkové měření. Pro tento pokus byl použit dřevěný hranol 6x6cm, který byl několik dnů ponořený ve vodě. Následně bylo zahájeno měření vlhkosti na jeho povrchu a v hloubce 3cm. Výsledky jsou ukázány na Graf 7, kde je zřetelně vidět zpoždění mezi vysycháním uprostřed a na povrchu vzorku, které bylo v tomto případě asi 4dny. Tím, že byl původně relativně suchý vzorek ponořený ve vodě pouze několik dní, tak byla nejprve naměřena větší vlhkost na jeho povrchu. To se ale brzy změnilo, když volná

voda z povrchu vzorku vyschla během prvního dne vysoušení. K ustálení vlhkosti vzorku na povrchu pak došlo po necelých 5 dnech vysoušení a v jeho středu po necelých 9 dnech. Důležité bylo, že se hodnoty z obou typů elektrod ustálily na stejné hodnotě kolem 11% vlhkosti dřeva, což prokázalo, že měří stejně a nedochází k žádnému zkreslení výsledků vlivem konstrukce elektrod.



Graf 7 – Měření vysychání dřevěného vzorku na povrchu a v hloubce 3cm

4.5 Porovnání teoreticky získaných výsledků s praktickým měřením

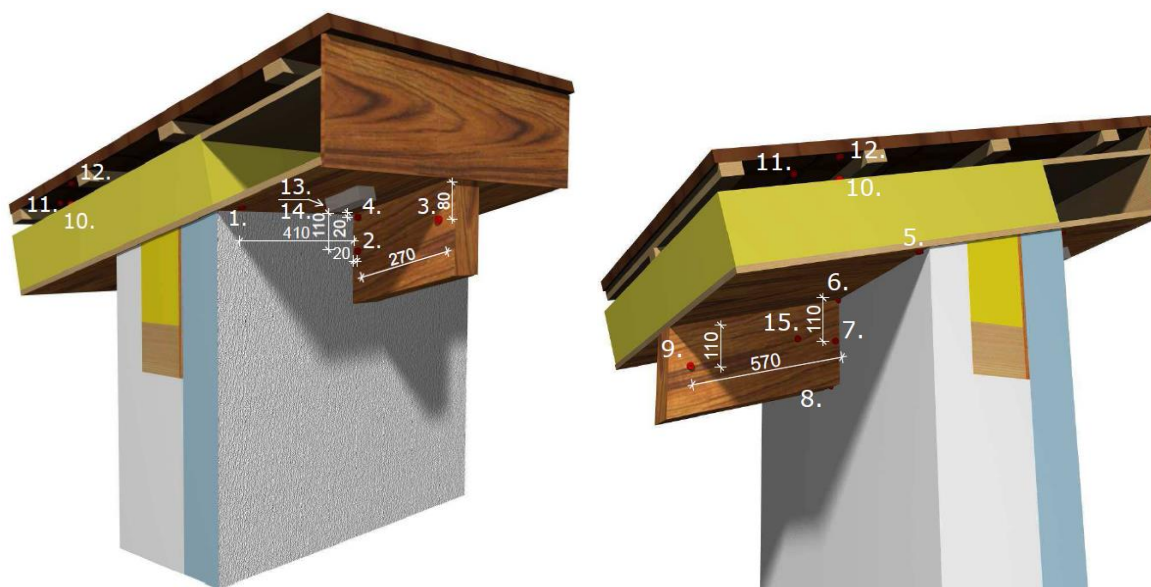
Porovnání teoreticky získaných výsledků a výsledků získaných měření na reálné stavbě proběhlo ve dvou úrovních. V té první se mezi sebou porovnávaly povrchové teploty na krokvi a palubkovém bednění a ve druhé došlo k srovnání vlhkosti krokve, která byla měřena ve 3 bodech na svém povrchu a uvnitř svého průřezu.

4.5.1 Porovnání povrchových teplot

Přehledné porovnání teplot ve sledovaných bodech uvádí Tabulka 14. Jednotlivé body a jejich umístění je pak ukázáno na Obr. 26. Jak je z porovnání patrné u většiny bodů činí rozdíl mezi oběma hodnotami maximálně 0,5°C. Tento rozdíl může být částečně zapříčiněn přesností měřících čidel, která je $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Další možná příčina naměřeného rozdílu by mohla být nepřesnost výpočtového modelu, která může být dána nedostatečnou jemností výpočetní sítě modelu nebo například špatně zvolenými přestupy tepla, které mají na vypočítanou povrchovou teplotu pochopitelně celkem značný vliv. Přestupy tepla byly pro výpočet zadávány dle přílohy J normy ČSN 730540-3. Ve skutečnosti mohou být hodnoty těchto přestupů odlišné od hodnot z normy. Pro přesné zjištění těchto hodnot by určitě pomohlo jejich přesné změření pomocí alfametrů.

Tabulka 14 - Porovnání povrchových teplot v místě osazení čidel

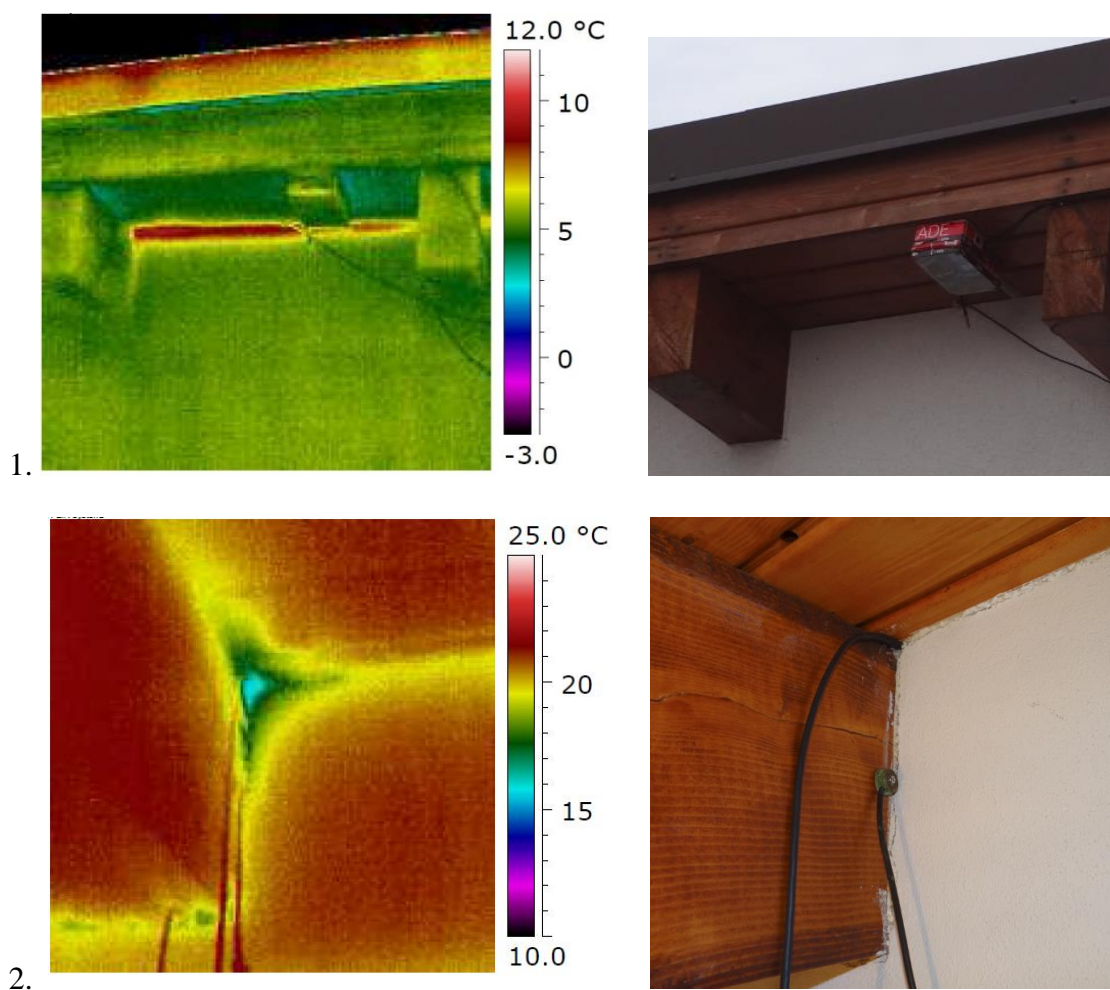
Porovnání povrchových teplot				
Okrajové podmínky		Interiér:	22,4°C	50%
		Exteriér:	3,2°C	65,70%
Čidlo:	Model	Naměřené	Rozdíl [°C]	Rozdíl [%]
1	3,27	5,3	2,03	6,4%
2	3,5	4,1	0,6	1,9%
3	3,2	3,2	0	0,0%
4	3,42	4,7	1,28	4,0%
5	21,37	21,1	-0,27	-0,8%
6	20,76	20,7	-0,06	-0,2%
7	21,81	21,5	-0,31	-1,0%
8	21,71	21,2	-0,51	-1,6%
9	22,35	21,9	-0,45	-1,4%



Obr. 26 – Grafické znázornění rozmístění teplotních čidel

Největší rozdíly, které dosahovaly hodnot až 2°C, byly naměřeny na palubkovém bednění mezi krokviemi a v rohu na krokvi právě pod tímto bedněním. Při zjišťování příčin těchto nepřesností přicházela v úvahu špatná montáž těchto čidel nebo netěsnost pod procházejícím palubkovým bedněním, která by teplotu ve zmiňovaných místech vlivem proudění vzduchu z interiéru zvyšovala. K odhalení skutečné příčiny napomohlo termovizní nasnímkování objektu, které bylo pořízeno při podtlaku a přetlaku, jenž byl v objektu vytvořen pomocí zařízení pro Blower-Door test. To se uskutečnilo v červnu 2013 na vyžádání majitelů objektu, manželů Mikuškových. Cílem byla právě kontrola těsnosti objektu a případné odhalení

netěsností. Během měření bylo oblačno, foukal mírný vítr, teplota venkovního vzduchu byla 2,3°C a teplota vnitřního vzduchu byla 21,5°C. Rozdíl teplot mezi interiérem a exteriérem tedy činil 19,2°C. Pro termovizní snímkování byla použita termovizní kamera Flir b60 s rozlišením detektoru kamery 180x180 bodů. Teploty vzduchu byly měřeny přístrojem Commeter D3631. Ze získaných snímků (viz - Obr. 27) je zřejmé, že příčinou většího rozdílu mezi vypočítanými a změřenými hodnotami budou s největší pravděpodobností právě netěsnosti, kterými proudí teplý vzduch z interiéru a ohřívá měřený detail v místě osazení některých čidel.



Obr. 27 Termovizní snímky kolem měřených detailů: 1. - Při přetlaku v exteriéru; 2. – Při podtlaku v interiéru.

4.5.2 Porovnání vlhkosti dřevěných prvků

Porovnání vlhkosti dřeva proběhlo ve všech třech měřených bodech, jak jsou znázorněny na Obr. 22 a to jak na povrchu, tak uprostřed průřezu. Na výsledcích, které uvádí Tabulka 15, je vidět, že povrchové vlhkosti se ve všech bodech liší o maximálně 1,4% vlhkosti dřeva, což

je relativně dobrá přesnost. Zato u porovnávání výsledků ze středu průřezu jsou rozdíly velice výrazné. Spočítané výsledky zde převyšují naměřené hodnoty i o více než 10%.

Tabulka 15 – Rozdíly mezi vlhkostí naměřenou a vypočítanou v jednotlivých bodech

Porovnání vlhkosti dřeva		
Umístění čidla	Spočítaná vlhkost [%]	Naměřená vlhkost [%]
A - povrchové	18,1	19,5
A - hloubkové	29	17,8
B - povrchové	17,8	18,6
B - hloubkové	29	17,9
C - povrchové	18,3	18,5
C - hloubkové	21,1	15,5

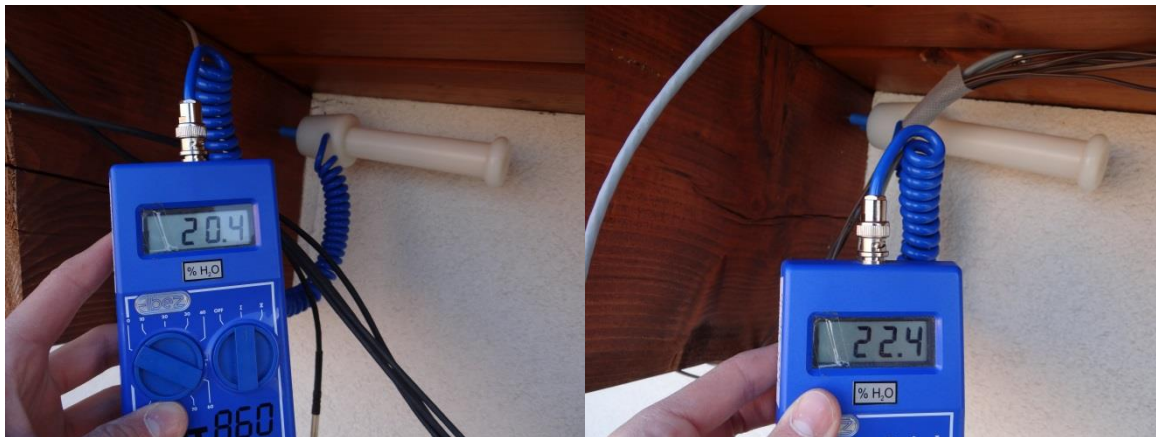
Příčin takto velké odchylky bude nejspíš několik a každá se na ní bude nějakou měrou podílet. První příčinou by mohlo být zpoždění, se kterým se změny ve venkovním prostředí projevují uprostřed průřezu. Z Grafu 3 je patrné, že vlhkost uprostřed průřezu opravdu narůstá a je pravděpodobné, že bude narůstat i nadále, takže by došlo zmenšení odchylky. Stejně jako u porovnání povrchových teplot i tady budou jistě hrát svou roli netěsnosti, které jsou v některých místech kolem krokve. Proudící vzduch ohřívá krokev a v té pak mohou být odlišné vlhkostní podmínky, než které dostáváme z výpočtu.

Jak již bylo naznačeno dříve, nepřesnosti také mohou vznikat vlivem zjednodušení výpočtového modelu. Ten nepočítá s výsušnými trhlami, které jsou na měřené krokvi poměrně významné. Zadání vlastností dřeva sice zohledňuje tok podél a napříč vláken, nerozlišují však, z jaké části kmenu byl konkrétní prvek vyřezán, zda se jedná o dřevo jádrové či bělové. Možná má určitý vliv i sukovitost dřeva apod.



Obr. 28 – Měřená krokev – Zobrazení výsušných trhlín a viditelné letokruhy odhalující, jak je krokev „rostlá“.

Po zohlednění všech těchto poznatků by tedy výsledky ze zdánlivě stejného detailu zabudovaného v naprosto stejných podmínkách mohly vycházet i poměrně dost odlišně. Tento fakt dokazuje i Obr. 29, kde jsou porovnány vlhkosti naměřené ve stejném místě na dvou sousedních krokách. Změřený rozdíl ve vlhkosti dřeva zde byl 2%.



Obr. 29 – Rozdíl v naměřených vlhkostech na dvou sousedních krokách.

5. ZÁVĚR

Cíle diplomové práce byly naplněny, a to v celém rozsahu, jak byly stanoveny. V rámci diplomové práce byly vypracovány i příslušné konstrukční detaily (viz příloha 11) a specializace z KDK, ve které byl posuzován krokevní námětek a jeho připevnění ke krokvi (viz příloha 12).

5.1 Shrnutí poznatků

V této práci byla poměrně podrobně rozebrána problematika vytvoření přesahu střechy u nadkrokevního systému zateplení. Výsledky výpočetního modelu ukázaly klady a zápory jednotlivých variant a upozornily, na co si dávat pozor při návrhu těchto detailů. Většinou se totiž bere hlavní zřetel na splnění tepelně-technických požadavků a zapomíná se na posouzení zabudovaných dřevěných prvků. Jedna z možností, jak k tomuto posuzování přistupovat je právě v této práci popsána.

Při porovnání provedení přesahu střech pomocí průběžné krokve a pomocí krokevního námětku hovoří tepelně-technické výsledky spíše pro první variantu, ovšem když se zaměříme na vlhkostní poměry v tomto detailu, je lepší variantou provedení přesahu pomocí námětku. Řešení, které bylo posuzované v této práci, sice požadavky na dřevo zabudované v konstrukci nesplnilo, ovšem výrazné zlepšení vlhkostních poměrů v tomto detailu by bylo dosažitelné jednoduchými konstrukčními opatřeními, což u varianty s průběžnou krokví neplatí. Tato opatření by spočívala především ve změně tepelně-izolačního poměru před a za parozábranou. Ideálním řešením, které je znázorněno na výkresu č. 11, by bylo odebrání přízdívky z pórobetonového zdiva a ponechání otevřeného detailu ze strany interiéru. V případě požadavku na zakrytí pozednice je nutné volit materiály a jejich tloušťku tak, aby součinitel prostupu tepla tímto materiálem byl co největší. I s tímto opatřením se ale někdy mohou při extrémních návrhových podmínkách objevovat malé lokální kondenzační zóny v dřevěném bednění v místě pod námětkem. Jejich úplné eliminaci by přispělo omezení tepelného toku námětkem (např. jeho připevněním přes vrstvu tuhé tepelné izolace apod.). Při vyšších požadavcích na zateplení budovy je pak ideálním z posuzovaných řešení vytvoření přesahu pomocí dvojitého námětku.

V praktické části této práce, která se věnovala měření na reálné stavbě, byl zjištěn vliv jednotlivých zjednodušení a faktorů, se kterými model nepočítá. Ukázalo se, že co se vlhkosti dřevěných prvků zejména uprostřed jejich průřezu týká, je výpočtový model hodně na straně

bezpečné a ve skutečnosti zřejmě vlhkostní situace uvnitř dřevěných prvků není tak kritická, jak ukazovaly výpočty. V případě, že tedy posuzovaný detail splní požadavky na základě posouzení postupem popsaným v této práci, měl by s největší pravděpodobností fungovat i při své realizaci na skutečné stavbě. Toto tvrzení by ale mělo být potvrzeno výrazně větším počtem měřených konstrukcí.

5.2 Možnosti dalšího zkoumání

Do budoucna zbývá k vyřešení hned několik otázek, jejichž odpovědi by pomohly objasnit, jak se nejen tento detail ale zabudované dřevěné prvky v konstrukcích ve skutečnosti chovají. Prvním krokem bude určitě dokončení stávajícího experimentu. Zajímavé bude sledovat, na jakou hranici vystoupá vlhkost uvnitř průběžné krokve během zimy. Samozřejmě každé další takové měření by bylo pro další vývoj této problematiky velice prospěšné. Dále by bylo dobré blíže se věnovat obecně otázce rychlosti nasákavosti dřevěných prvků např. v závislosti na hloubce pod povrchem, v závislosti na směru vláken apod.

Další možností budoucího vývoje je jistě i hledání možných variantních řešení provedení přesahu střech, a celkové vylepšování těchto detailů, při kterém se uplatní znalosti získané při zpracování této práce. Především možností vylepšení varianty s krokevním námětkem se nabízí více. Jsou jimi např. ukotvení námětku přes vrstvu tuhé tepelné izolace nebo idealizace průřezu krokevního námětku (jeho zúžení nebo nahrazení např. STEICO nosníky apod.). Na kolik by byly tyto varianty realizovatelné ať už z technického nebo ekonomického pohledu bude předmětem dalšího zkoumání.

Velký prostor a nejspíš i hlavní směr mého dalšího vývoje bude ve zpřesňování výpočetního modelu. Základem bude zvolení sofistikovanějšího programu, který nebude nijak omezen při zadávání geometrie, umožní modelování i složitějších fyzikálních jevů a dokáže zohlednit například i kapilární proudění uvnitř dřevěných prvků. Výhodou by také byla možnost zadávání nestacionárních okrajových podmínek a materiálových charakteristik. Takovéto řešení však již přesahuje vymezený rámec diplomové práce.

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Citované zdroje:

1. ČSN 73 1901, 2011. *Navrhování střech – Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
2. ČSN 73 0540-2, 2011. *Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
3. ČSN 73 0540-2, 2012. *Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky: Změna-Z1*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
4. PETŘÍČEK, Tomáš. VUT V BRNĚ, fakulta stavební. *Prezentace BH05 - Pozemní stavitelství III*. Brno, 2010.
5. HŮLKA, Ctibor, Jiří CHLÁDEK, Luboš KÁNĚ, Martin KELTNER a Radim MAŘÍK. DEK, a.s. *Kutnar - Šikmé střechy: Skladby a detaily, část A*. čtvrté. Praha, 2008.
6. ŘEHOŘKA, Petr, Luboš KÁNĚ a Jiří SKŘÍPSKÝ. DEK, a.s. *Montážní návod Topdek*. Praha, 2012.
7. STEHLÍK, Michal. VUT V BRNĚ, fakulta stavební. *Prezentace CI57 – Moderní stavební materiály*. Brno, 2013.
8. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. *Wood.mendelu.cz* [online]. 2012 [cit. 2013-06-24]. Dostupné z: <http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/?q=node/39>
9. Základní vlastnosti dřeva. KLOUDA, Petr. *Http://streachy-klouda.eu/* [online]. 2012 [cit. 2013-06-24]. Dostupné z: <http://streachy-klouda.eu/files/prezentace/zakladni-vlastnosti-dreva.pdf>.
10. PLECHÁČ, Zdeněk. DEK, a.s. *Impregnace dřeva*. Praha, 2012.
11. Cube3D 2011. K-CAD. K-CAD [online]. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika-pro-specialisty/cube-3d/>
12. SVOBODA, Zbyněk. Cube3D 2011. Kladno, 2011. Dostupné z: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=2356

-
13. HAVÍŘOVÁ, Zdeňka a Pavel KUBŮ. *Vliv tepelně-vlhkostních podmínek v obvodovém plášti staveb na bázi dřeva*. In: TZB-info [online]. 2011 [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/7403-vliv-tepelne-vlhkostnich-podminek-v-obvodovem-plasti-staveb-na-bazi-dreva>
 14. BUKOVSKÝ, Ladislav a Pavel KUBŮ. *Technické řešení energeticky úsporných dřevostaveb*. Praha, 2002. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/2216.pdf>
 15. SIMPSON, W. T. *Equilibrium Moisture Content of wood in Outdoor Locations in the United States and Worldwide*. Madison, Wisconsin, 1998. Dostupné také z: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn268.pdf>
 16. COMET SYSTEM, s.r.o. Comet [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/produkty/prenosne-pristroje>
 17. ELBEZ S.R.O. Elbez [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.elbez.cz/www.elbez.cz/html-cz/file//Tabulka%20drevin.pdf>
 18. ELBEZ S.R.O. Elbez [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.elbez.cz/www.elbez.cz/html-cz/file//Tabulka%20stavebnich%20materialu.pdf>

Další zdroje:

19. ČSN 73 0540-1, 2005. *Tepelná ochrana budov – část 1: Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
 20. ČSN 73 0540-3, 2005. *Tepelná ochrana budov – část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
 21. ČSN 73 0540-4, 2005. *Tepelná ochrana budov – část 4: Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
 22. ČSN EN ISO 13788, 2002. *Tepelně vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
 23. ČSN EN ISO 10211, 2009. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchové teploty – Podrobné výpočty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
-

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

DVV	- Doplnková vodotěsnicí vrstva
DHV	- Doplnková hydroizolační vrstva
EPS	- Expandovaný polystyren
MW	- Minerální vlna
PIR	- Polyisokyanurát
PUR	- Polyuretan
RVD	- Rovnovážná vlhkost dřeva
SVR	- Stav vlhkostní rovnováhy
XPS	- Extrudovaný polystyren
VVV	- Větraná vzduchová vrstva
Ψ	- Lineární činitel prostupu tepla [W/(mK)]
χ	- Bodový činitel prostupu tepla [W/K]
U	- Součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]
θ_{ai}	- Návrhová teplota vnitřního vzduchu [°C]
θ_e	- Návrhová teplota venkovního vzduchu [°C]
θ_w	- Teplota rosného bodu [°C]
R_{si}	- Odpor při přestupu tepla v interiéru [m ² K/W]
R_{se}	- Odpor při přestupu tepla v exteriéru [m ² K/W]
h	- Součinitel přestupu tepla [W/(m ² K)]
f_{Rsi}	- Teplotní faktor vnitřního povrchu [-]
λ	- Součinitel tepelné vodivosti [W/(mK)]
m	- Hmotnost [g]
ρ	- Hustota [kg/m ³]
E	- Modul pružnosti [GPa]
α	- Součinitel teplotní roztažnosti [1/T]

8. SEZNAM PŘÍLOH

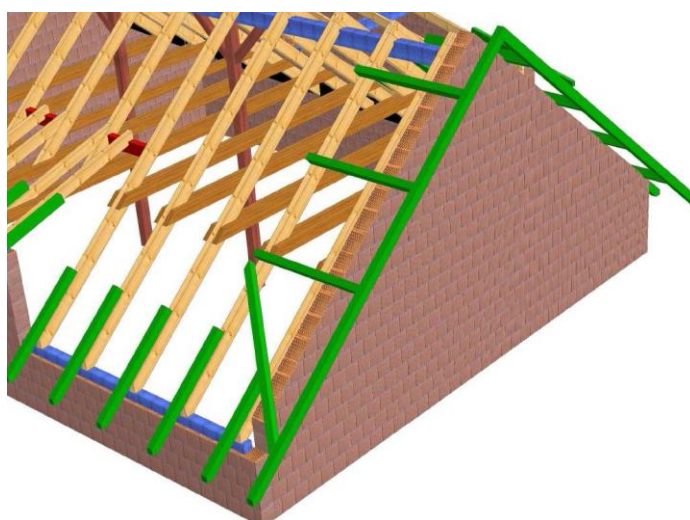
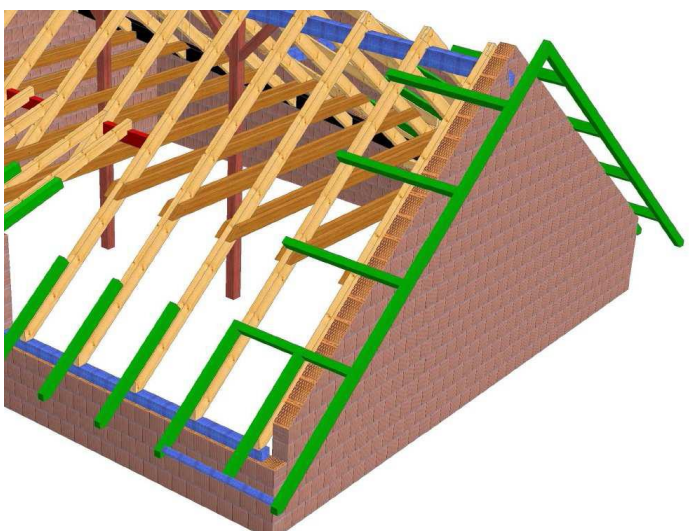
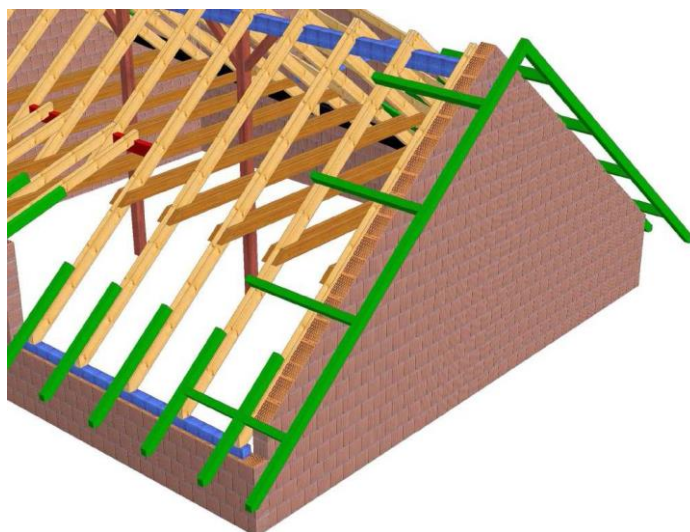
P 1- Možnosti uspořádání okapových a štítových námětků	68
P 2 – Přehled přirozené trvanlivosti a impregnovatelnosti vybraných dřevin.....	69
P 3 – Tepelně technické posouzení skladeb stěn a střech	70
P 4 – Příprava jednotlivých detailů pro zadání do Cube3D	82
P 5 – Data k výpočetnímu modelu Cube3D	86
P 6 – Osazení čidel na měřeném objektu – fáze1 - březen 2013	88
P 7 – Fotodokumentace z druhé fáze osazování čidel – listopad 2013	90
P 8 – Technické listy od měřicí techniky Comet.....	90
P 9 – Dokumentace průběhu gravimetrické zkoušky	95
P 10 – Převodní tabulky pro měření vlhkosti	95
P 11 – Výkresová dokumentace ¹²	
P 12 – Specializace – Statické posouzení ¹³	

¹² Příloha je součástí samostatných desek přiložených k diplomové práci

¹³ Příloha je součástí samostatných desek přiložených k diplomové práci

9. PŘÍLOHY

P 1- Možnosti uspořádání okapových a štítových námětků



Zdroj: [6]

P 2 – Přehled přirozené trvanlivosti a impregnovatelnosti vybraných dřevin

Dle ČSN EN 350-2 Trvanlivost dřeva a materiálů na jeho bázi - Přirozená trvanlivost rostlého dřeva - Část 2: Přirozená trvanlivost a impregnovatelnost vybraných dřevin důležitých v Evropě. [10]

Dřevina	Přirozená trvanlivost			Impregnovatelnost	
	houby	tesařík	červotoč	jádro	běl
Smrk ztepilý	4	SH	SH	3-4	3v
Borovice lesní	3-4	S	S	3-4	1
Jedle	4	SH	SH	2-3	2v
Modřín	3-4	S	S	4	2v
Buk lesní	5	-	S	1 (4-červené jádro)	1
Dub letní	2	-	S	4	1

Houby - 1 velmi trvanlivé, 2 trvanlivé, 3 středně trvanlivé, 4 slabě trvanlivé, 5 netrvanlivé

Tesařík - D trvanlivé, S náchylné (jádrové dřevo je trvanlivé, pokud není uvedeno SH), listnaté není napadáno

Červotoč - D trvanlivé, S náchylné (jádrové dřevo je trvanlivé, pokud není uvedeno SH), listnaté není napadáno

Impregnovatelnost

1 impregnuje se lehce, řezivo lze úplně proimpregnovat tlakovou impregnací

2 impregnuje se středně lehce, úplný průnik obvykle není možný, ale po 2 h nebo 3 h tlakové impregnace lze dosáhnout více než 6 mm bočního průniku u jehličnatých dřevin a u listnatých dřevin pronikne velkou částí cév (v- vysoký stupeň proměnlivosti)

3 impregnuje se obtížně; po 3 h až 4 h tlakové impregnace nelze dosáhnout 3 -6 mm bočního průniku (v- vysoký stupeň proměnlivosti)


4 značně nepropustné pro impregnaci; průnik ochranného prostředku i po 3 h až 4 h tlakové impregnace; jak boční tak čelní je minimální





Obr. 30 – Tlaková impregnace borovice lesní. [10]


P 3 – Tepelně technické posouzení skladeb stěn a střech



1 - Posouzení skladby střechy zateplené na požadované hodnoty

Vnitřní konstrukce:					NE					
Charakter konstrukce:					Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)					
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:					NE					
Konstrukce ve styku se zeminou:					NE					
Součinitel prostupu tepla stanoven:					výpočtem					
Skladba konstrukce od interiéru:										
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu			
-	-	d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ			
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]			
1	Dřevo rostlé tvrdé - tepelný tok kolmo k vláknům	0,0190	0,220	-	2 510	600	157,0			
2	Hydroizolační pás s Al nebo Cu fólií	0,0022	0,210	-	1 470	1 270	300 000,0			
3	PIR	0,1000	0,022	-	1 500	32	34,0			
4	SBS modifikovaný asfaltový pás H	0,0018	0,210	-	1 470	1 200	30 000,0			
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{si}	0,25	0,10	m².K/W	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{se}	0,04	0,04	m².K/W	
Okrajové podmínky:										
Návrhová vnitřní teplota						θ _i	20,0	°C		
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						θ _{ai}	20,6	°C		
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						φ _i	50	%		
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						Δφ _i	5	%		
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						θ _e	-15,0	°C		
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						φ _e	84	%		
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	181	m.n.m.		
Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a ČSN EN ISO 6946:										
Korekce součinitele prostupu tepla:						ΔU	0,027	W/(m².K)		
Odpor při přestupu tepla:						R _T	4,242	m².K/W		
Součinitel prostupu tepla:						U	0,24	W/(m².K)		
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						U _N	0,24	W/(m².K)		
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						U _{rec}	0,16	W/(m².K)		
Hodnocení:	Konstrukce STR-2: Střecha - požadované hodnoty splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.									


Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		f_{Rsi}	0,943	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{Rsi,N}$	0,747	-	
Povrchová teplota konstrukce:		θ_{si}	18,6	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si,min}$	11,6	°C	
Hodnocení:	Konstrukce STR-2: Střecha - požadované hodnoty splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	18,8	1 334	2 169	62%	
1 - 2	18,2	1 329	2 086	64%	
2 - 3	18,1	176	2 076	8%	
3 - 4	-14,7	170	170	100%	
4 - e	-14,7	138	169	82%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny		Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]		[m]	[m]	[kg/(m².s)]	
1		0,121	0,121	2.3e-10	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{c,N}$	0,100	kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:		M_c	0,000	kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:		M_{ev}	0,034	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní			
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Poznámka ke konstrukci:					
-					



2 - Posouzení skladby střechy zateplené na doporučené hodnoty

Vnitřní konstrukce:					NE				
Charakter konstrukce:					Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)				
Konstrukce dvouplošná s větranou vzduchovou vrstvou:					NE				
Konstrukce ve styku se zemí:					NE				
Součinitel prostupu tepla stanoven:					výpočtem				
Skladba konstrukce od interiéru:									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
-	-	d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ		
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]		
1	Dřevo rostlé tvrdé - tepelný tok kolmo k vláknům	0,0190	0,220	-	2 510	600	157,0		
2	Hydroizolační pás s Al nebo Cu fólií	0,0022	0,210	-	1 470	1 270	300 000,0		
3	PIR	0,1600	0,022	-	1 500	32	34,0		
4	SBS modifikovaný asfaltový pás H	0,0018	0,210	-	1 470	1 200	30 000,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{si}	0,25	0,10	m².K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{se}	0,04	0,04	m².K/W
Okrajové podmínky:									
Návrhová vnitřní teplota						θ _i	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						θ _{ai}	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						φ _i	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírůstek:						Δφ _i	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						θ _e	-15,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						φ _e	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	181	m.n.m.	
Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a ČSN EN ISO 6946: 									
Korekce součinitele prostupu tepla:						ΔU	0,018	W/(m².K)	
Odpor při přestupu tepla:						R _T	6,642	m².K/W	
Součinitel prostupu tepla:						U	0,15	W/(m².K)	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						U _N	0,24	W/(m².K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						U _{rec}	0,16	W/(m².K)	
Hodnocení:	Konstrukce STR-3: Střecha - doporučené hodnoty splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								


Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		f_{Rsi}	0,963	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{Rsi,N}$	0,747	-	
Povrchová teplota konstrukce:		θ_{si}	19,3	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si,min}$	11,6	°C	
Hodnocení:	Konstrukce STR-3: Střecha - doporučené hodnoty splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	19,4	1 334	2 257	59%	
1 - 2	19,0	1 329	2 201	60%	
2 - 3	19,0	178	2 195	8%	
3 - 4	-14,8	168	168	100%	
4 - e	-14,8	138	168	83%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny		Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]		[m]	[m]	[kg/(m².s)]	
1		0,181	0,181	2.36e-10	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{c,N}$	0,100	kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:		M_c	0,000	kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:		M_{ev}	0,034	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní			
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Poznámka ke konstrukci:					
-					



3 - Posouzení skladby střechy zateplené v pasivním standardu

Vnitřní konstrukce:					NE				
Charakter konstrukce:					Strop nebo střecha (tepelný tok nahoru)				
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:					NE				
Konstrukce ve styku se zemínou:					NE				
Součinitel prostupu tepla stanoven:					výpočtem				
Skladba konstrukce od interiéru:									
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu		
-	-	d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ		
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]		
1	Dřevo rostlé tvrdé - tepelný tok kolmo k vláknům	0,0190	0,220	-	2 510	600	157,0		
2	Hydroizolační pás s Al nebo Cu fólií	0,0022	0,210	-	1 470	1 270	300 000,0		
3	PIR	0,2200	0,022	-	1 500	32	34,0		
4	SBS modifikovaný asfaltový pás H	0,0018	0,210	-	1 470	1 200	30 000,0		
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{si}	0,25	0,10	m².K/W
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{se}	0,04	0,04	m².K/W
Okrajové podmínky:									
Návrhová vnitřní teplota						θ _i	20,0	°C	
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						θ _{ai}	20,6	°C	
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						φ _i	50	%	
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						Δφ _i	5	%	
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						θ _e	-15,0	°C	
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						φ _e	84	%	
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	181	m.n.m.	
Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a ČSN EN ISO 6946:									
Korekce součinitele prostupu tepla:						ΔU	0,013	W/(m².K)	
Odpor při přestupu tepla:						R _T	9,042	m².K/W	
Součinitel prostupu tepla:						U	0,11	W/(m².K)	
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						U _N	0,24	W/(m².K)	
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						U _{rec}	0,16	W/(m².K)	
Hodnocení:	Konstrukce STR-4: Střecha - pasivní standard splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.								


Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		f_{Rsi}	0,973	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{Rsi,N}$	0,747	-	
Povrchová teplota konstrukce:		θ_{si}	19,6	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si,min}$	11,6	°C	
Hodnocení:	Konstrukce STR-4: Střecha - pasivní standard splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	19,7	1 334	2 300	58%	
1 - 2	19,4	1 329	2 258	59%	
2 - 3	19,4	181	2 253	8%	
3 - 4	-14,8	167	167	100%	
4 - e	-14,9	138	167	83%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny		Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]		[m]	[m]	[kg/(m².s)]	
1		0,241	0,241	2.39e-10	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{c,N}$	0,100	kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:		M_c	0,000	kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:		M_{ev}	0,034	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní			
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Poznámka ke konstrukci:					
-					



4 - Posouzení skladby stěny zateplené na požadované hodnoty

Vnitřní konstrukce:					NE					
Charakter konstrukce:					Stěna (vodorovný tepelný tok)					
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:					NE					
Konstrukce ve styku se zemínou:					NE					
Součinitel prostupu tepla stanoven:					výpočtem					
Skladba konstrukce od interiéru:										
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu			
-	-	d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ			
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]			
1	Omítka vápenocementová	0,0120	0,990	-	790	2 000	19,0			
2	Ytong	0,2500	0,150	-	1 000	500	7,0			
3	ETICS - lepicí malta k podkladu nanese na terče 40 % plochy	0,0100	0,300	-	920	520	17,0			
4	Polystyren pěnový, EPS (15 - 20)	0,0800	0,040	-	1 270	20	35,0			
5	ETICS- lepidlo + výztužná tkanina	0,0050	0,800	-	900	1 800	20,0			
6	ETICS - omítka silikátová	0,0030	0,800	-	900	1 800	50,0			
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{si}	0,25	0,13	m².K/W	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{se}	0,04	0,04	m².K/W	
Okrajové podmínky:										
Návrhová vnitřní teplota						θ _i	20,0	°C		
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						θ _{ai}	20,6	°C		
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						φ _i	50	%		
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						Δφ _i	5	%		
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						θ _e	-15,0	°C		
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						φ _e	84	%		
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	181	m.n.m.		
Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a ČSN EN ISO 6946:										
Korekce součinitele prostupu tepla:						ΔU	0,022	W/(m².K)		
Odpor při přestupu tepla:						R _T	3,583	m².K/W		
Součinitel prostupu tepla:						U	0,28	W/(m².K)		
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						U _N	0,30	W/(m².K)		
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						U _{rec}	0,25	W/(m².K)		
Hodnocení:	Konstrukce STN-6: Obvodová stěna - požadovaná hodnota splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.									

Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:				
Teplotní faktor vnitřního povrchu:	f_{Rsi}	0,932	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:	$f_{Rsi,N}$	0,747	-	
Povrchová teplota konstrukce:	θ_{si}	18,2	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:	$\theta_{si,min}$	11,6	°C	
Hodnocení:	Konstrukce STN-6: Obvodová stěna - požadovaná hodnota splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.			
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:				
Podmínky na rozhraních mezi materiály:				
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]
i - 1	18,4	1 334	2 113	63%
1 - 2	18,3	1 272	2 099	61%
2 - 3	3,5	784	784	100%
3 - 4	3,2	738	768	96%
4 - 5	-14,6	168	172	98%
5 - 6	-14,6	156	171	92%
6 - e	-14,6	138	170	81%
Kondenzační zóny:				
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]	[m]	[m]	[kg/(m².s)]	
1	0,262	0,262	3.06e-9	
2	0,296	0,343	2.81e-8	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:	$M_{c,N}$	0,096	kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:	M_c	0,032	kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:	M_{ev}	2,846	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:	aktivní			
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry			
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.				
Poznámka ke konstrukci:				
-				



5 - Posouzení skladby stěny zateplené na doporučené hodnoty

Vnitřní konstrukce:					NE					
Charakter konstrukce:					Stěna (vodorovný tepelný tok)					
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:					NE					
Konstrukce ve styku se zemínou:					NE					
Součinitel prostupu tepla stanoven:					výpočtem					
Skladba konstrukce od interiéru:										
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu			
-	-	d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ			
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]			
1	Omítka vápenocementová	0,0120	0,990	-	790	2 000	19,0			
2	Ytong	0,2500	0,150	-	1 000	500	7,0			
3	ETICS - lepicí malta k podkladu nanesena na terče 40 % plochy	0,0100	0,300	-	920	520	17,0			
4	Polystyren pěnový, EPS (15 - 20)	0,1200	0,040	-	1 270	20	35,0			
5	ETICS- lepidlo + výztužná tkanina	0,0050	0,800	-	900	1 800	20,0			
6	ETICS - omítka silikátová	0,0030	0,800	-	900	1 800	50,0			
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{si}	0,25	0,13	m².K/W	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{se}	0,04	0,04	m².K/W	
Okrajové podmínky:										
Návrhová vnitřní teplota						θ _i	20,0	°C		
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						θ _{ai}	20,6	°C		
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						φ _i	50	%		
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						Δφ _i	5	%		
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						θ _e	-15,0	°C		
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						φ _e	84	%		
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	181	m.n.m.		
Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a ČSN EN ISO 6946:										
Korekce součinitele prostupu tepla:						ΔU	0,029	W/(m².K)		
Odpor při přestupu tepla:						R _T	4,283	m².K/W		
Součinitel prostupu tepla:						U	0,23	W/(m².K)		
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						U _N	0,30	W/(m².K)		
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						U _{rec}	0,25	W/(m².K)		
Hodnocení:	Konstrukce STN-5: Obvodová stěna - doporučená hodnota splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.									

Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		f_{Rsi}	0,943	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{Rsi,N}$	0,747	-	
Povrchová teplota konstrukce:		θ_{si}	18,6	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si,min}$	11,6	°C	
Hodnocení:	Konstrukce STN-5: Obvodová stěna - doporučená hodnota splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	18,8	1 334	2 172	61%	
1 - 2	18,7	1 287	2 161	60%	
2 - 3	6,9	921	994	93%	
3 - 4	6,7	885	978	90%	
4 - 5	-14,6	164	170	96%	
5 - 6	-14,7	154	170	91%	
6 - e	-14,7	138	169	82%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny		Od	Do	Mn. zkond. vodní páry	
[-]		[m]	[m]	[kg/(m².s)]	
1		0,321	0,375	2.15e-8	
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{c,N}$	0,100	kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:		M_c	0,021	kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:		M_{ev}	2,202	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní			
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Poznámka ke konstrukci:					
-					

6 - Posouzení skladby stěny zateplené v pasivním standardu

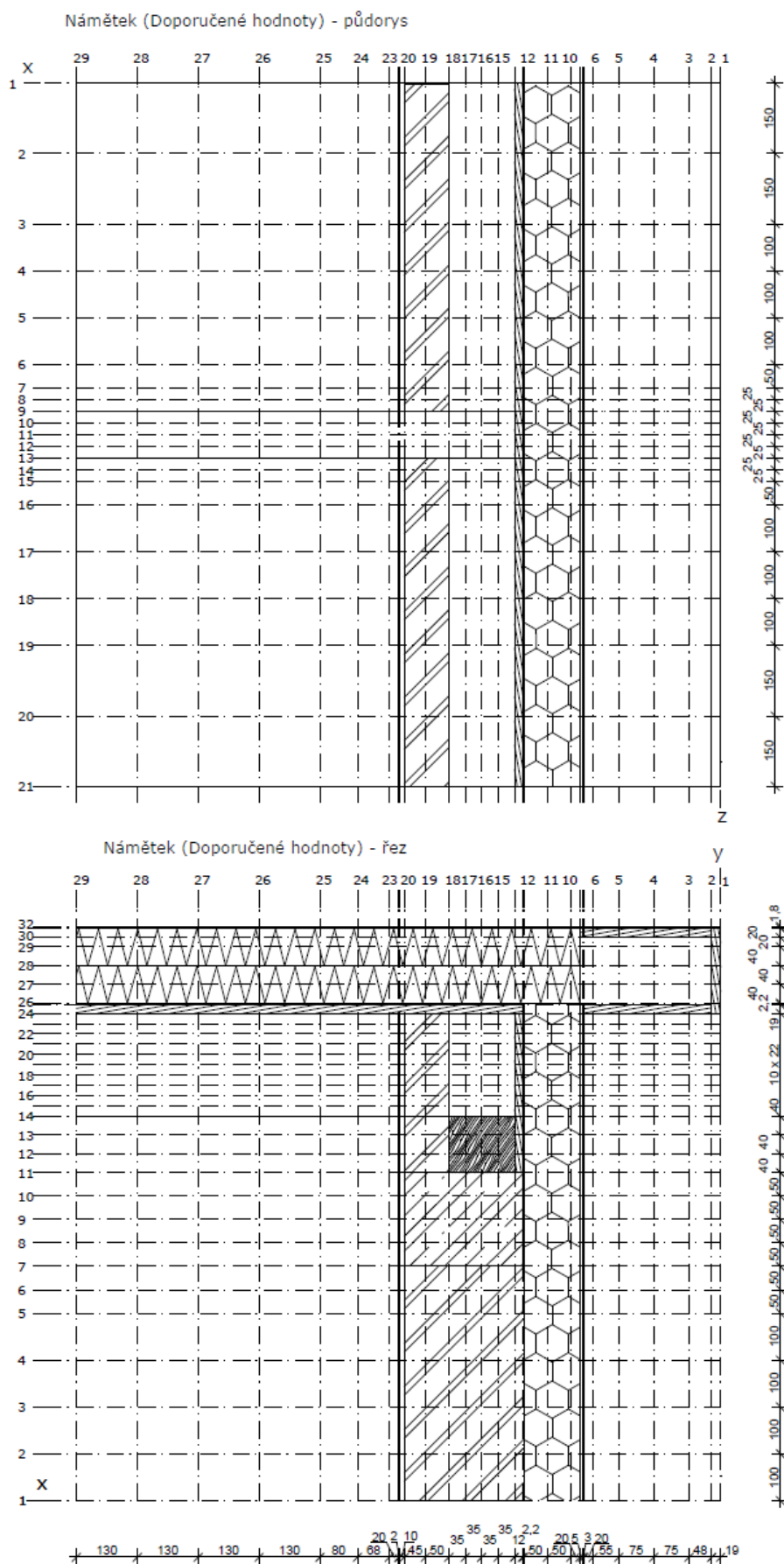
Vnitřní konstrukce:					NE					
Charakter konstrukce:					Stěna (vodorovný tepelný tok)					
Konstrukce dvouplášťová s větranou vzduchovou vrstvou:					NE					
Konstrukce ve styku se zemínou:					NE					
Součinitel prostupu tepla stanoven:					výpočtem					
Skladba konstrukce od interiéru:										
č.	Název vrstvy	Tloušťka vrstvy	Součinitel tepelné vodivosti		Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor dif. odporu			
-	-	d	λ	λ _{ekv}	c	ρ	μ			
-	-	[m]	[W/(m.K)]		[J/(kg.K)]	[kg/m³]	[-]			
1	Omítka vápenocementová	0,0120	0,990	-	790	2 000	19,0			
2	Ytong	0,2500	0,150	-	1 000	500	7,0			
3	ETICS - lepicí malta k podkladu nanesená na terče 40 % plochy	0,0100	0,300	-	920	520	17,0			
4	Polystyren pěnový, EPS (15 - 20)	0,2000	0,040	-	1 270	20	35,0			
5	ETICS- lepidlo + výztužná tkanina	0,0050	0,800	-	900	1 800	20,0			
6	ETICS - omítka silikátová	0,0030	0,800	-	900	1 800	50,0			
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{si}	0,25	0,13	m².K/W	
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (šíření vlhkosti / šíření tepla)						R _{se}	0,04	0,04	m².K/W	
Okrajové podmínky:										
Návrhová vnitřní teplota						θ _i	20,0	°C		
Návrhová teplota vnitřního vzduchu:						θ _{ai}	20,6	°C		
Relativní vlhkost vnitřního vzduchu:						φ _i	50	%		
Bezpečnostní vlhkostní přírážka:						Δφ _i	5	%		
Návrhová teplota venkovního vzduchu:						θ _e	-15,0	°C		
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu:						φ _e	84	%		
Nadmořská výška budovy (terénu):						h	181	m.n.m.		
Součinitel prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 a ČSN EN ISO 6946:										
Korekce součinitele prostupu tepla:						ΔU	0,016	W/(m².K)		
Odpor při přestupu tepla:						R _T	6,211	m².K/W		
Součinitel prostupu tepla:						U	0,16	W/(m².K)		
Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla:						U _N	0,30	W/(m².K)		
Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla:						U _{rec}	0,25	W/(m².K)		
Hodnocení:	Konstrukce STN-7: Obvodová stěna - pasivní standard splňuje doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla.									

Teplotní faktor vnitřního povrchu (vnitřní povrchová teplota) dle ČSN 73 0540-4:					
Teplotní faktor vnitřního povrchu:		f_{Rsi}	0,960	-	
Požadovaná hodnota teplotního faktoru vnitřního povrchu:		$f_{Rsi,N}$	0,747	-	
Povrchová teplota konstrukce:		θ_{si}	19,2	°C	
Požadovaná minimální povrchová teplota konstrukce:		$\theta_{si,min}$	11,6	°C	
Hodnocení:	Konstrukce STN-7: Obvodová stěna - pasivní standard splňuje požadavek ČSN 73 0540-2:2011 na teplotní faktor vnitřního povrchu.				
Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN 73 0540-4:					
Podmínky na rozhraních mezi materiály:					
Rozhraní	Teplota	Částečný tlak vodní páry	Nasycený částečný tlak vodní páry	Rel.vlhkost vzduchu	
-	[°C]	[Pa]	[Pa]	[-]	
i - 1	19,3	1 334	2 242	59%	
1 - 2	19,3	1 302	2 233	58%	
2 - 3	10,8	1 053	1 295	81%	
3 - 4	10,6	1 028	1 281	80%	
4 - 5	-14,7	158	169	94%	
5 - 6	-14,8	150	168	89%	
6 - e	-14,8	138	168	82%	
Kondenzační zóny:					
Číslo zóny	Od	Do	Mn. zkond. vodní páry		
[-]	[m]	[m]	[kg/(m².s)]		
1	0,376	0,443	1.35e-8		
Požadované maximální roční množství zkondenzované vodní páry:		$M_{c,N}$	0,100	kg/(m².a)	
Roční množství zkondenzované vodní páry:		M_c	0,013	kg/(m².a)	
Roční množství vypařitelné vodní páry:		M_{ev}	1,533	kg/(m².a)	
Roční bilance zkondenzované a vypařitelné vodní páry:		aktivní			
Hodnocení:	Konstrukce vyhovuje požadavkům na kondenzaci vodní páry				
Pozn.: Výpočet byl proveden bez vlivu sluneční radiace a zabudované vlhkosti.					
Poznámka ke konstrukci:					
-					

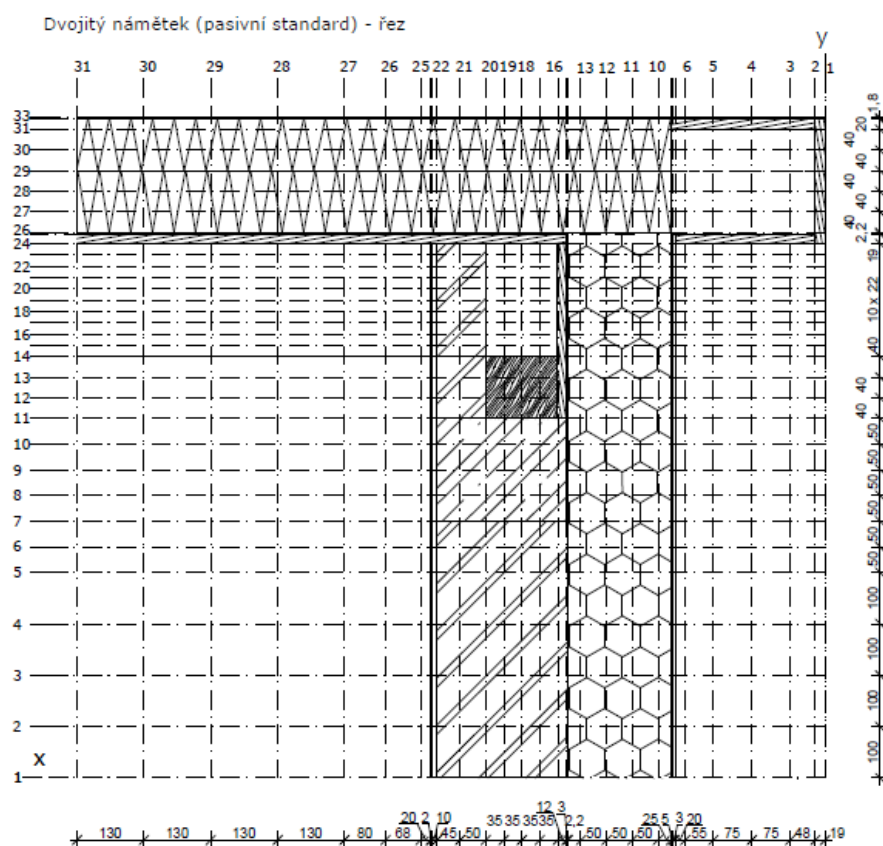
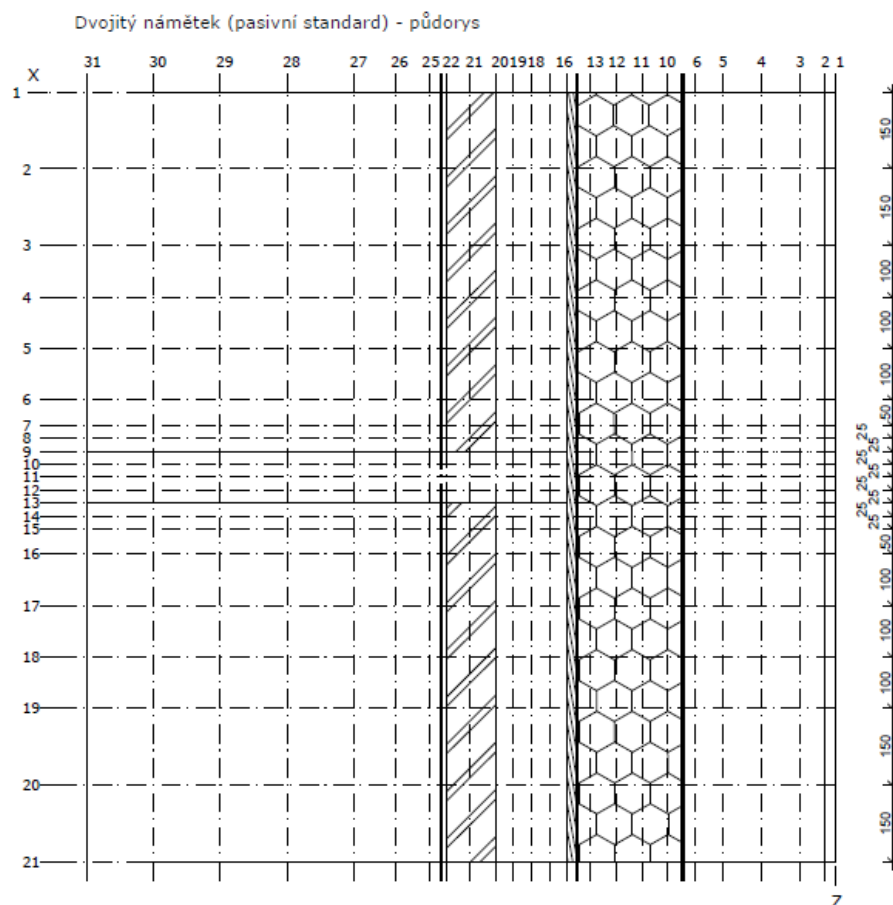
a) Detail připravený pro zadání do programu Cube3D - Průběžná kroky



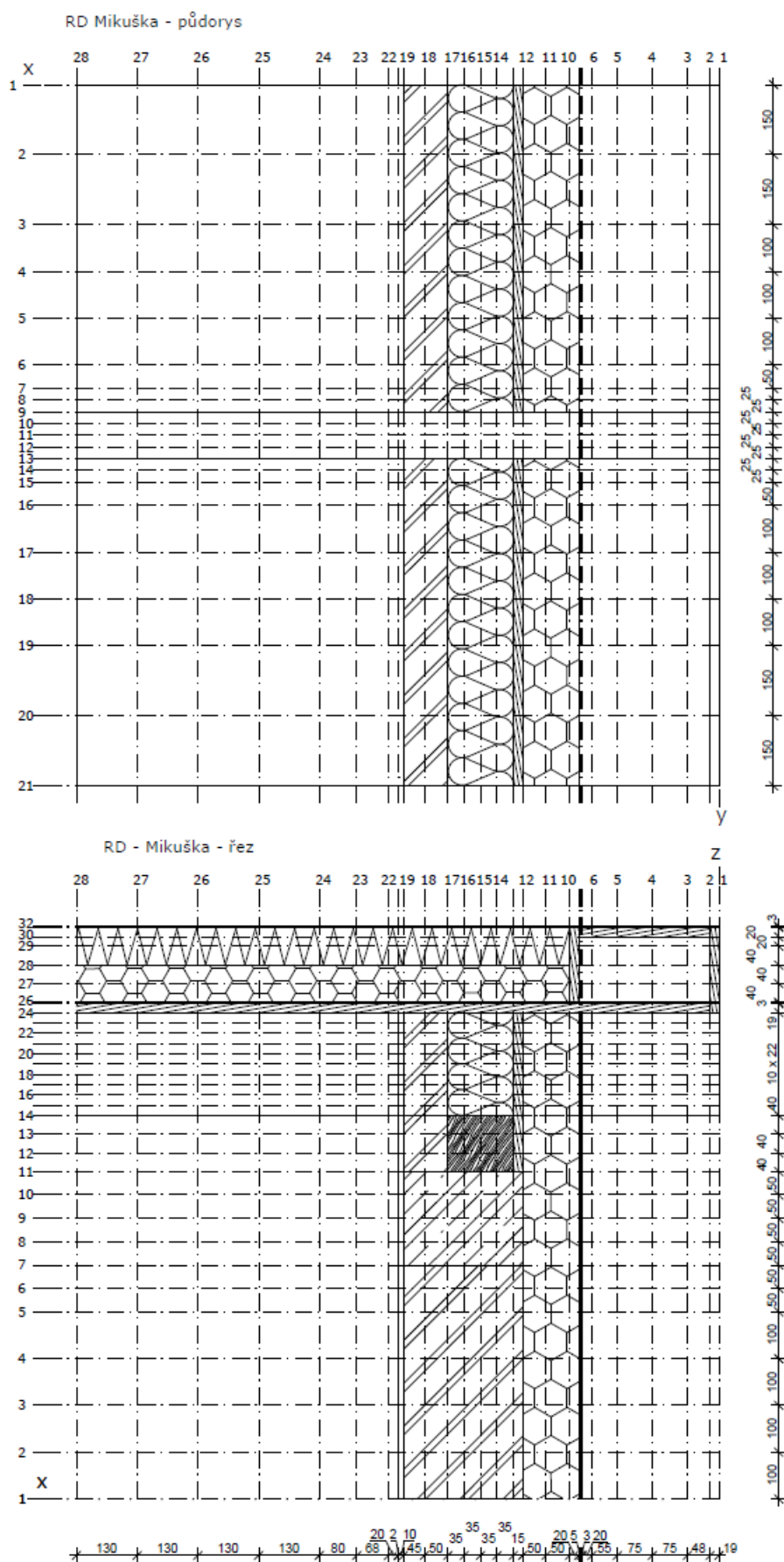
b) Detail připravený pro zadání do programu Cube3D - Námětek



c) Detail připravený pro zadání do programu Cube3D – Dvojitéj námětek



d) Detail připravený pro zadání do programu Cube3D – RD Mikuška



P 5 – Data k výpočetnímu modelu Cube3D

Průběžná krokev (požadované hodnoty)

Parametry charakterizující rozsah úlohy:

Počet os kolmých na osu X:	29
Počet os kolmých na osu Y:	32
Počet os kolmých na osu Z:	21
Počet prvků:	17360
Počet uzlových bodů:	19488

Souřadnice os sítě - osa x (m) :

0.0000	0.0190	0.0670	0.1420	0.2170	0.2720	0.2920	0.2950	0.3000	0.3200
0.3500	0.3800	0.3822	0.3942	0.4292	0.4642	0.4992	0.5342	0.5842	0.6292
0.6392	0.6412	0.6612	0.7292	0.8092	0.9392	1.0692	1.1992	1.3292	

Souřadnice os sítě - osa y (m) :

0.0000	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.4500	0.5000	0.5500	0.6000	0.6500
0.7000	0.7400	0.7800	0.8200	0.8420	0.8640	0.8860	0.9080	0.9300	0.9520
0.9740	0.9960	1.0180	1.0400	1.0590	1.0612	1.0812	1.1012	1.1212	1.1412
1.1612	1.1630								

Souřadnice os sítě - osa z (m) :

0.0000	0.1500	0.3000	0.4000	0.5000	0.6000	0.6500	0.6750	0.7000	0.7250
0.7500	0.7750	0.8000	0.8250	0.8500	0.9000	1.0000	1.1000	1.2000	1.3500
1.5000									

č.	Název	Lambda [W/mK]			Faktor Mi [-]		Zdroj	X1	X2	Y1	Y2	Z1	Z2	
1	Pórobeton	0.150	0.150	0.150	7.00	7.00	7.00	-	12	20	1	7	1	21
2	Pórobeton	0.150	0.150	0.150	7.00	7.00	7.00	-	18	20	11	24	1	21
3	ŽB věnec	1.430	1.430	1.430	23	23	23	-	13	20	7	11	1	21
4	Pozednice	0.180	0.410	0.180	157	4.50	157	-	14	18	11	14	1	21
5	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	13	14	11	24	1	21
6	Uzavřená vzduch	0.588	0.588	0.588	0.10	0.10	0.10	-	14	18	14	24	1	21
7	EPS	0.044	0.044	0.044	35	35	35	-	9	12	1	24	1	21
8	omítka vápenoce	0.990	0.990	0.990	19	19	19	-	20	21	1	24	1	21
9	Vnitřní štuk	0.490	0.490	0.490	19	19	19	-	21	22	1	24	1	21
10	Lepidlo	0.800	0.800	0.800	20	20	20	-	8	9	1	24	1	21
11	Silikátová omítka	0.800	0.800	0.800	50	50	50	-	7	8	1	24	1	21
12	Bednění-palubky	0.180	0.410	0.180	157	4.50	157	-	1	29	24	25	1	21
13	Asf.pás s Al vložkou	0.210	0.210	0.210	300000	300000	300000	-	1	29	25	26	1	21
14	PIR	0.025	0.025	0.025	34	34	34	-	10	29	26	31	1	21
15	Uzav.vzduch. mez.	0.823	0.823	0.823	0.07	0.07	0.07	-	2	9	26	30	1	21
16	Distanční dř. hranol	0.410	0.180	0.180	4.50	157	157	-	2	9	26	30	10	12
17	palubky	0.180	0.410	0.180	157	4.50	157	-	1	2	24	31	1	21
18	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	9	10	26	31	1	21
19	OSB desky	0.130	0.130	0.130	50	50	50	-	2	9	30	31	1	21
20	SBS mod. asf. pás	0.210	0.210	0.210	30000	30000	30000	-	1	29	31	32	1	21
21	Asf.pás s Al vložkou	0.210	0.210	0.210	300000	300000	300000	-	12	13	7	26	1	21
22	Krokev	0.410	0.180	0.180	4.50	157	157	-	1	29	14	24	9	13

Zadané okrajové podmínky a jejich rozmístění :

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10^9 s/m]
1	22	979	20.60	0.25	1.45	10.00
701	7	964	-15.00	0.04	0.14	20.00

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přirážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.

Zadané průměrné měsíční teploty a vlhkosti (pro roční bilanci vodní páry):

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.6	44.4	1076.6	-2.1	81.1	416.1
2	28	20.6	47.5	1151.8	0.1	80.4	494.6
3	31	20.6	49.3	1195.5	4.0	79.1	643.2
4	30	20.6	53.7	1302.2	9.1	76.7	886.3
5	31	20.6	60.3	1462.2	14.1	73.5	1182.2
6	30	20.6	65.0	1576.2	17.0	70.9	1373.1
7	31	20.6	67.5	1636.8	18.5	69.3	1475.1
8	31	20.6	66.7	1617.4	18.0	69.9	1441.9

9	30	20.6	60.4	1464.6	14.2	73.4	1188.2
10	31	20.6	53.9	1307.0	9.3	76.6	897.2
11	30	20.6	49.2	1193.0	3.9	79.0	637.9
12	31	20.6	47.0	1139.7	-0.3	80.5	479.7

Pro výpočet šíření vodní páry byla uplatněna přírážka k vnitřní průměrné vlhkosti 5 %.
Výchozí měsíc výpočtu balance byl stanoven výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.

Zadané okrajové podmínky pro výpočet bodových a lineárních činitelů prostupu tepla a jejich rozmístění:

číslo	1.uzel	2.uzel	Teplota [C]	Rs [m2K/W]	p [kPa]	h,p [10 ⁹ s/m]
1	691	5336	20.60	0.10	1.45	10.00
3	5331	8120	20.60	0.21	1.45	10.00
7	7825	8004	20.60	0.13	1.45	10.00
10	689	19251	20.60	0.21	1.45	10.00
11	7823	8115	20.60	0.10	1.45	10.00
13	7823	11537	20.60	0.21	1.45	10.00
17	14319	19133	20.60	0.13	1.45	10.00
19	900	19488	-15.00	0.04	0.14	20.00
682	7765	11535	20.60	0.21	1.45	10.00
683	341	7823	20.60	0.13	1.45	10.00

Průběžná krokev (doporučené hodnoty)

Zadání obdobné jako u požadovaných hodnot. Odlišné jsou pouze tloušťky tepelných izolací. Tyto změny se projeví na souřadnicích os sítě.

Souřadnice os sítě - osa x (m) :

0.0000	0.0190	0.0670	0.1420	0.2170	0.2720	0.2920	0.2950	0.3000	0.3200
0.3700	0.4200	0.4222	0.4342	0.4692	0.5042	0.5392	0.5742	0.6242	0.6692
0.6792	0.6812	0.7012	0.7692	0.8492	0.9792	1.1092	1.2392	1.3692	

Souřadnice os sítě - osa y (m) :

0.0000	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.4500	0.5000	0.5500	0.6000	0.6500
0.7000	0.7400	0.7800	0.8200	0.8420	0.8640	0.8860	0.9080	0.9300	0.9520
0.9740	0.9960	1.0180	1.0400	1.0590	1.0612	1.1012	1.1412	1.1812	1.2012
1.2212	1.2230								

Souřadnice os sítě - osa z (m) :

0.0000	0.1500	0.3000	0.4000	0.5000	0.6000	0.6500	0.6750	0.7000	0.7250
0.7500	0.7750	0.8000	0.8250	0.8500	0.9000	1.0000	1.1000	1.2000	1.3500
1.5000									

Ostatní detaily byly zadávány obdobným způsobem, jako tomu bylo v prvním případě. Geometrie byla zpracována dle podkladů uvedených v příloze P 4, všechny materiály byly použity se stejnými vlastnostmi a okrajové podmínky byly rovněž ponechány stejné.

P 6 – Osazení čidel na měřeném objektu – fáze1 - březen 2013



Rodinný dům manželů Mikuškových



Osazená čidla na měření povrchových teplot ze strany interiéru, exteriéru a v prostoru pod taškami a měřicí zařízení THG pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu.

P 7 – Fotodokumentace z druhé fáze osazování čidel – listopad 2013





COMMETER - TEPLoměRY VLHKOMěRY, BAROMETRY pro přímá měření i záznam



C3120, D3120
C4130, D4130

- dvouřádkový LCD displej se speciálními znaky
- nastavitelný dvouúrovňový alarm s akustickou i optickou signalizací pro každou veličinu
- paměť minimální a maximální hodnoty
- Hold - uchování měřených hodnot v paměti

Přístroje jsou určeny pro přímá měření i záznam teploty a vlhkosti (případně atmosférického tlaku) do své vnitřní energeticky nezávislé paměti v nastavitelném časovém intervalu. Z paměti přístroje lze pomocí dodaného programu zaznamenané teploty přenést do PC po sériové lince RS232 nebo USB k archivaci a dalšímu vyhodnocení. Přístroj se propojuje s PC dodaným komunikačním kabelem pouze pro přenos dat z paměti, přičemž po dobu připojení k PC není možné měření ani záznam.

SPOLEČNÉ TECHNICKÉ PARAMETRY

Rozsah provozních teplot:	-10 až +60°C
Použitý senzor teploty:	odporový
Přesnost měření teploty:	±0,4°C v rozsahu -50 až +100°C, ±0,5% z měřené hodnoty od 100 do 250°C
Přesnost měření vlhkosti:	±2,5%RV v rozsahu 5 až 95% při 23°C, rozlišení 0.1%
Přesnost měření rosného bodu:	±2,5% RV od 5 do 95% při 23°C
Přesnost měření atmosférického tlaku:	±2hPa při 23°C, rozlišení 0,1hPa
Napájení:	baterie 9V
Životnost baterie:	4 měsíce, (barometry 2 měsíce)
Rozměry bez čidel:	141 x 71 x 27mm

TECHNICKÉ ÚDAJE - přístroje se záznamem (typy začínající písmenem D) :

Typy záznamu:	1. ruční ukládání - kapacita 1000 uložených sad hodnot 2. automatický záznam necyklický (po zaplnění paměti se záznam zastaví) - celková kapacita 16000 hodnot 3. automatický záznam cyklický (po zaplnění paměti se nejstarší hodnoty nahrazují novými) - celková kapacita cca 15200 hodnot
Hodiny reálného času:	rok, přestupný rok, měsíc, den, hodina, minuta, sekunda
Propojení s počítačem:	sériové RS232
Interval vzorkování při automatickém záznamu:	18 nastavitelných hodnot od 10s do 24hod (10s, 1min, 2min, 3min, 4min, 5min, 10min, 15min, 20min, 30min, 1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 8h, 12h, 24h)

Typ	Popis	Rozsah měření
C3120	TEPLOMĚR-VLHKOMĚR se současným zobrazením teploty a relativní vlhkosti, po přepnutí zobrazení teploty rosného bodu, senzory pevně spojené s přístrojem	teplota -10 až +60°C relativní vlhkost 5 až 95%RV
D3120	všechny funkce jako C3120, navíc 3 typy záznamu s propojením na osobní počítač	
C3121	TEPLOMĚR-VLHKOMĚR se současným zobrazením teploty a relativní vlhkosti, po přepnutí zobrazení teploty rosného bodu. Externí sonda teplota-vlhkost na kabelu 1metr. Viz rovněž Příslušenství za příplatek. Na zakázku lze za příplatek dodat sondu s délkou kabelu 2 nebo 4 metry	teplota -30 až +105°C* relativní vlhkost 0 až 100%RV
D3121	všechny funkce jako C3121, navíc 3 typy záznamu s propojením na osobní počítač	
C3631	TEPLOMĚR-VLHKOMĚR se současným zobrazením teploty a relativní vlhkosti, po přepnutí zobrazení teploty rosného bodu. Sensory teploty-vlhkosti pevně spojené s přístrojem. Konektor Cinch pro připojení další teplotní sondy na bázi Ni1000/6180 ppm. V nabídce jsou dotykové, vpichové, ponorné sondy s konektorem Cinch a další. Po přepnutí displeje zobrazení teploty rosného bodu, teploty vnější teplotní sondy a rozdílu teploty mezi vnější sondou a rosným bodem.	prostorová teplota -10 až +60°C teplota sondy -50 až +250°C relativní vlhkost 5 až 95%RV
D3631	všechny funkce jako C3631, navíc 3 typy záznamu s propojením na osobní počítač. Přístroj D3631 má certifikát schválení typu TCM 321/02-3751 - stanovené měřidlo pro kontrolu teploty prostředí a teplé užitkové vody.	



031-150/C - dotyková sonda teploty -30 až +150°C s čidlem Ni1000 na kabelu 1metr pro přístroje C3631, D3631



031-60 - dotyková sonda teploty -10 až +60°C s čidlem Ni1000 pro přímé zasunutí do konektoru přístroje C3631, D3631

Cxxx Dxxx



LOGGERY PRO ZÁZNAM TEPLOTY

- s LCD displejem i bez displeje



Teploměr S0141 (S0541, S0841, S0842)
s USB adaptérem

- přeprava potravin
- sklady
- technologické provozy
- muzea a galerie

Certifikát TÜV SÜD dle
ČSN EN 12830
pro přepravu a skladování
zchlazených a zmrazených
potravin.

Loggery jsou určeny k záznamu teplot, případně v kombinaci se záznamem stavu kontaktu (otevření / zavření dveří). Záznam je prováděn do energeticky nezávislé elektronické paměti. Údaje lze kdykoli přenést do osobního počítače přes rozhraní USB, RS232, Ethernet nebo GSM modem pomocí příslušného adaptéru.

Přednosti:

- kalibrační list od výrobce je součástí dodávky
- variabilita připojení k osobnímu počítači přes USB, RS232, Ethernet nebo GSM modem
- rychlý přenos dat do PC (zcela zaplněná paměť 32000 údajů za 30s)
- možnost trvalého připojení k počítači, data lze stahovat i během záznamu
- velký dvouřádkový displej se speciálními znaky, vypínatelný
- volitelně lze zobrazovat i minimální a maximální naměřené hodnoty (nulování min/max hodnot z PC nebo magnetem)
- každému kanálu lze nastavit alarm se 2 mezemi, který je indikován na displeji nebo světívkou
- lze zvolit 2 režimy alarmu: průběžný nebo s pamětí (alarm je indikován trvale až do vynulování)
- robustní vodotěsné pouzdro s krytím IP67, snadná montáž s možností uzamčení
- extrémně nízký odběr z baterie, životnost až 7 let
- indikace zbývajících životnosti baterie, snadná vyměnitelnost baterie
- standardní čidlo teploty je Pt1000, lze přepnout na Ni1000/6180ppm v rozsahu -50 až +150°C
- měření teploty lze kombinovat se záznamem stavu kontaktu (např. otevření/zavření dveří) – typ S084x
- záznamník lze zapínat/vypínat: online z připojeného PC, dodaným magnetem, typ S084x změnou stavu na vstupech pro kontakt. Automatický start záznamníku lze z PC nastavit na měsíc dopředu (zadáním data a času)
- lze nastavit režim, kdy záznam běží pouze, je-li některá z měřených veličin mimo nastavené meze svého alarmu
- každý záznamník lze označit textem s popisem – maximálně 32 znaků, každý kanál lze popsat textem – max.16 znaků
- ochrana heslem před neoprávněným zásahem

SPOLEČNÉ TECHNICKÉ ÚDAJE:

Rozsah provozních teplot typů R01xx bez displeje:	-30 až +80°C, -40 až +80°C logger R0110
Rozsah provozních teplot typů S0xxx s displejem:	-30 až +70°C
Přesnost měření teploty vnitřním čidlem:	±0.4°C (neplatí pro ekonomické loggery S0110E a R0110E)
Přesnost vstupu teploty Pt1000 (bez sond):	±0.2°C od -50 do +100°C ±0.2% z měřené hodnoty od +100 do +260°C ±0.4% z měřené hodnoty od -90 do -50°C
Rozlišení údaje o teplotě:	0.1°C
Hodiny reálného času:	rok, přestupný rok, měsíc, den, hodina, minuta, sekunda
Interval záznamu:	nastavitelný od 10s do 24hod
Obnovení displeje a stavu alarmů:	každých 10 s
Celková kapacita paměti:	32000 hodnot v necyklickém záznamu
Volby typu záznamu:	necyklický – po zaplnění paměti se záznam zastaví cyklický – po zaplnění se nejstarší hodnoty nahrazují novými
Rozměry bez konektorů:	loggery s displejem 93x64x29mm loggery bez displeje 93x64x26mm
Napájení:	Lithiová baterie 3,6V, velikost AA
Typická životnost baterie:	7 let R0110, 6 let S01xx, 5 let S0141, S0841, S0541
Krytí:	IP67 - chráněno před vlivy dočasného ponoření do vody



LOGGERY PRO ZÁZNAM TEPLOTY



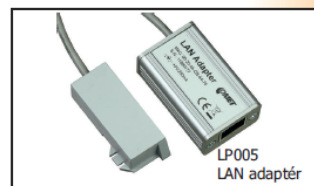
Typ	LOGGERY S DISPLEJEM	měřené signály	rozsah měření
S0110	JEDNOKANÁLOVÝ TEPLOMĚR s vnitřním čidlem	1 x T	-30 až +70°C
S0110E	EKONOMICKÝ TEPLOMĚR s vnitřním čidlem, s přesností měření: $\pm 0.6^\circ\text{C}$ od -30 do +30°C a $\pm 0.8^\circ\text{C}$ od +30 do +70°C	1 x T	-30 až +70°C
S0111	JEDNOKANÁLOVÝ TEPLOMĚR pro záznam teploty z jedné externí sondy	1 x T	-90 až +260°C
S0121	DVOUKANÁLOVÝ TEPLOMĚR pro záznam teplot ze dvou externích sond, včetně rozdílu teplot mezi kanály	2 x T	-90 až +260°C
S0122	DVOUKANÁLOVÝ TEPLOMĚR pro záznam teplot z vnitřního čidla a externí sondy včetně rozdílu teplot mezi kanály	2 x T	externí -90 až +260°C vnitřní -30 až +70°C
S0141	ČTYRKANÁLOVÝ TEPLOMĚR s alarmy pro záznam z externích sond	4 x T	-90 až +260°C
S0541	DVOUKANÁLOVÝ TEPLOMĚR pro záznam teplot ze dvou externích sond se dvěma univerzálními vstupy 0-5Vss, přesnost $\pm 0,2\%$ z rozsahu	2 x T+ 2 x 0-5V	-90 až +260°C
S0841	DVOUKANÁLOVÝ TEPLOMĚR pro záznam teplot ze dvou externích sond. Navíc vstupy pro dva signály z kontaktu (otevření/zavření dveří)	2 x T+ 2 x kont.	-90 až +260°C
S0842	TŘÍKANÁLOVÝ TEPLOMĚR pro záznam teplot ze tří externích sond. Navíc vstup pro dvoustavový signál z kontaktu (otevření/zavření dveří)	3 x T+ 1 x kont.	-90 až +260°C
Typ	LOGGERY BEZ DISPLEJE	měřené signály	rozsah měření
R0110	JEDNOKANÁLOVÝ TEPLOMĚR s vnitřním čidlem	1 x T	-40 až +80°C
R0110E	EKONOMICKÝ TEPLOMĚR s vnitřním čidlem, s přesností měření: $\pm 0.6^\circ\text{C}$ od -30 do +30°C a $\pm 0.8^\circ\text{C}$ od +30 do +70°C	1 x T	-30 až +70°C

Záznamníky jsou dodávány bez příslušenství a bez externích teplotních sond. Sondas s čidlem Pt1000 a příslušenství lze objednat. Pro základní použití je nutno dokoupit minimálně USB adaptér, COM adaptér nebo LAN adaptér pro komunikaci s počítačem, případně start/stop magnet, pokud je potřeba ovládat záznam jinak než přímo z počítače. Pro modely S0541, S0841, S0842 je nutno objednat konektory pro připojení externích signálů.

Obsah dodávky: kalibrační list od výrobce, baterie. Kalibrační list s deklarovanými metrologickými návaznostmi etalonů - vychází z požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025. Bezplatný program pro Windows lze volně stáhnout z www.cometsystem.cz. Program umožňuje ovládání všech funkcí přístroje a prohlížení a tisk záznamu ve formě tabulek a grafů. Naměřené hodnoty lze exportovat do formátu dbf nebo txt pro další zpracování.

Příslušenství za příplatek:

- SWR001 - rozšířený software pro Windows - barevný tisk, volby časového a vstříelného měřítka grafů a další funkce - více na straně 23.
- DBL Logger Program - databázový program pro práci s daty z loggerů Comet. Obsahuje všechny potřebné komponenty pro analýzu zaznamenaných údajů. Pro funkci systému je nutno mít instalován freewarový databázový server MySQL nebo Microsoft SQL - více na straně 23.
- SW100 - CD s volně šiřitelným programem pro osobní počítač
- LP0012 - COM adaptér pro komunikaci s počítačem po sériové lince RS232
- LP003 - USB adaptér pro komunikaci s osobním počítačem přes USB port
- LP005 - LAN adaptér s kabelem 50 cm - převodník pro komunikaci s osobním počítačem přes Ethernet, alarmování zasláním e-mailové zprávy a trapu, včetně napájecího adaptéru 230Vac/5Vdc, 300mA
- LP005-5 - LAN adaptér s kabelem 5 metrů - převodník pro komunikaci s osobním počítačem přes Ethernet, alarmování zasláním e-mailové zprávy a trapu, včetně napájecího adaptéru 230Vac/5Vdc, 300mA
- Příslušenství pro GSM/GPRS komunikaci se záznamníky - viz dále
- LP004 - start/stop magnet
- MD036 - samolepicí Dual Lock - průmyslový suchý zip pro snadnou instalaci
- A4203 - náhradní Lithiová baterie 3,6V bez vývodů, velikost AA
- K modelům S0xx1 nutno objednat sondy s čidlem Pt1000 se zásuvkou K1321, za označením je znak /E. Uvedte požadovanou délku přívodního kabelu 1, 2, 5, 10m.
- K1321 - náhradní zásuvka pro připojení vnější sondy teploty a externího signálu přístroje S0541, S0841, S0842, krytí zásuvky IP67
- F9000 - držák na stěnu se zámkem proti neoprávněnému odejmutí
- Kalibrační list z akreditované kalibrační laboratoře Meros



Sxxx Rxxx Gxxx

SNÍMAČE TEPLOTY TG7- Pt 1000/3850

Právní předpisy a normy:

- Při montáži je nutno dodržovat zákony, vyhlášky a technické normy týkající se bezpečnosti práce.
- Elektrické připojení snímače může provádět jen osoba znalá dle § 5 vyhlášky č. 50/1978 Sb., která se podrobně seznámila s tímto „Návodem na použití“.
- Návod na použití je součástí produktu a je nutné ho uchovat po celou dobu životnosti produktu.
- Návod na použití je nutné postoupit jakémukoliv dalšímu držiteli nebo uživateli produktu.

Použití snímače:

Odporové snímače teploty TG7 jsou konstruovány pro měření povrchové teploty pevných látek s rovným a hladkým povrchem. Teplotní rozsah použití snímače je -30°C až 200°C a nesmí být ani krátkodobě překročen. Snímače je možné použít po všechny řídicí systémy, které jsou kompatibilní s čidlem teploty Pt 1000 s teplotním koeficientem $3850 \text{ ppm} / ^{\circ}\text{C}$. Snímače vyhovují stupni ochrany IP 65 podle ČSN EN 60 529. Snímače jsou určeny pro provoz v chemicky neagresivním prostředí.

Popis snímače:

Snímače jsou tvořeny kovovým pouzdem, ve kterém je umístěno čidlo a přívodním kabelem. Pouzdro snímače je z mosazi, otvory v pouzdře jsou určeny pro montáž na vodorovnou plochu. Zapojení snímačů je dvou vodičové. Přívodní kabel má silikonovou vnější izolaci a je stíněný. Stínění není spojeno s pouzdem, ani s čidlem teploty.

Technické parametry:

Typ čidla	Pt 1000 / 3850 ppm / $^{\circ}\text{C}$
Třída přesnosti *, **	$\pm (0,15 + 0,002 t)$ ve $^{\circ}\text{C}$
Zapojení čidla teploty	Dvou vodičové
Měřicí rozsah	-30°C až 200°C
Max. / Dop. měřicí proud	1 mA / 0,3 mA
Krytí snímače	IP 65 podle ČSN EN 60 529
Doba odezvy **	$\tau_{0,5} < 10 \text{ s}$ (na hladkém povrchu hranolu bez pasty)
Materiál pouzdra	mosaz
Průměr pouzdra	$19,5 \pm 0,1 \text{ mm}$
Výška pouzdra	$6 \pm 0,1 \text{ mm}$
Průměr otvoru pro montážní šroubky	$4,3 \pm 0,05 \text{ mm}$
Elektrická pevnost	500 V _{ef} podle ČSN EN 61010-1 čl. 6.8.4.
Izolační odpor	$> 200 \text{ M}\Omega$ při 500 V ss, $25^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$
Typ přívodního kabelu	silikon stíněný $2 \times 0,22 \text{ mm}^2$
Délka přívodního kabelu	
Odpor přívodních vodičů	$0,162 \Omega / 1 \text{ m}$ při teplotě 25°C
Odolnost vůči vnějšímu tlaku	2,5 Mpa
Třída el. Zařízení	Třída ochrany III
Hmotnost	0,05 kg / 1 m

* k uvedené přesnosti je potřeba u dvou vodičového zapojení připočíst vliv odporu vedení přívodního kabelu, v teplotě 25°C je vliv odporu vodičů přívodního kabelu $0,042^{\circ}\text{C} / 1 \text{ m}$.

** Na měřený povrch se doporučuje nanést teplotně vodivá pasta nebo silikonová vazelina, která zajistí rychlejší odezvu a minimalizuje chybu metody při měření teploty příložitým snímačem.

Provozní podmínky:

Snímače jsou určeny pro trvalý provoz v prostředí definovaném parametry dle ČSN EN 60721-3-3 se stupněm přísnosti IE 37 a následujících podmínkách:

- teplota v okolí přívodního kabelu: -30 až 200°C
- relativní vlhkost okolního prostředí: 10 až 100%
- atmosférický tlak: 70 až 106 kPa

SNÍMAČE TEPLOTY TG8- Pt 1000/3850

Právní předpisy a normy:

- Při montáži je nutno dodržovat zákony, vyhlášky a technické normy týkající se bezpečnosti práce.
- Elektrické připojení snímače může provádět jen osoba znalá dle § 5 vyhlášky č. 50/1978 Sb., která se podrobně seznámila s tímto „Návodem na použití“.
- Návod na použití je součástí produktu a je nutné ho uchovat po celou dobu životnosti produktu.
- Návod na použití je nutné postoupit jakémukoliv dalšímu držiteli nebo uživateli produktu.

Použití snímače:

Odporové snímače teploty TG8 jsou konstruovány pro měření teploty plyných a kapalných látek. Teplotní rozsah použití snímače je -50°C^{**} až 200°C a nesmí být ani krátkodobě překročen. Snímače je možné použít po všechny řídicí systémy, které jsou kompatibilní s čidlem teploty Pt 1000 s teplotním koeficientem 3850 ppm / $^{\circ}\text{C}$. Snímače teploty jsou určeny pro všeobecné použití. V kombinaci s jímkou JTG8 je možné snímače použít pro měření teploty v potrubích, a zároveň jako tlakovou výstroj ve smyslu nařízení vlády č. 26/2003 Sb. v platném znění. Snímače jsou určeny pro provoz v chemicky neagresivním prostředí.

Popis snímače:

Snímače jsou tvořeny kovovým pouzdem, ve kterém je umístěno čidlo a přívodním kabelem. Pouzdro snímače je z nerezové oceli třídy 17240. Zapojení snímačů je dvou vodičové. Přívodní kabel má silikonovou vnější izolaci a je stíněný. Stínění není spojeno s pouzdem, ani čidlem teploty. Délku pouzdra je možné volit standardně od 40 do 200 mm.

Technické parametry:

Typ čidla	Pt 1000 / 3850 ppm / $^{\circ}\text{C}$	
Třída přesnosti čidla *	$\pm (0,15 + 0,002 t)$ ve $^{\circ}\text{C}$	
Zapojení čidla teploty	Dvou vodičové	
Měřicí rozsah **	-50°C^{**} až 200°C	
Max. / Dop. měřicí proud	1 mA / 0,3 mA	
Krytí snímače	IP 67 podle ČSN EN 60 529	
Doba odezvy	$\tau_{0,5} < 7 \text{ s}$ (v proudícím vodě $> 0,2 \text{ m.s}^{-1}$)	
Materiál pouzdra	nerezová ocel 17240	
Průměr pouzdra	$5,7 \pm 0,1 \text{ mm}$	
Délka pouzdra		
Elektrická pevnost	500 Vef podle ČSN EN 61010-1 čl. 6.8.4.	
Izolační odpor	$> 200 \text{ M}\Omega$ při 500 V ss, $25^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$	
Typ přívodního kabelu	silikon stíněný $2 \times 0,34 \text{ mm}^2$	
Délka přívodního kabelu		
Odpor přívodních vodičů	$0,105 \Omega / 1 \text{ m}$ kabelu při teplotě 25°C	
Odolnost vůči vnějšímu tlaku	bez jímky	2,5 MPa
	s jímkou	6,3 MPa
Maximální rychlost proudění vody při měření teploty v potrubí s jímkou JTG8	Délka jímky do 60 mm	2 m.s^{-1}
	Délka jímky do >60 až 100mm	$1,5 \text{ m.s}^{-1}$
	Délka jímky do >100 až 160mm	$1,0 \text{ m.s}^{-1}$
Maximální rychlost proudění vzduchu a vodní páry při měření teploty v potrubí s jímkou JTG8	Délka jímky do 60 mm	20 m.s^{-1}
	Délka jímky do >60 až 100mm	15 m.s^{-1}
	Délka jímky do >100 až 160mm	10 m.s^{-1}
Třída el. zařizení	Třída ochrany III	
Hmotnost	$0,05 \text{ kg} / 1 \text{ m}$	

* u dvou vodičového zapojení je nutno k naměřeným hodnotám připočíst vliv odporu vedení přívodního kabelu, který při teplotě 25°C činí $0,027^{\circ}\text{C} / 1 \text{ m}$.

** v případě nepohyblivého uložení přívodního kabelu lze snímač teploty provozovat v rozsahu od -80°C

Provozní podmínky:

Snímače jsou určeny pro trvalý provoz v prostředí definovaném parametry dle ČSN EN 60721-3-3 se stupněm přesnosti IE 37 a následujících podmínek:

- teplota v okolí přívodního kabelu: -50°C^{**} až 200°C
- relativní vlhkost okolního prostředí: 10 až 100%
- atmosférický tlak: 70 až 106 kPa

P 9 – Dokumentace průběhu gravimetrické zkoušky



P 10 – Převodní tabulky pro měření vlhkosti

Druh dřeva	Vlhkost v %																		
Naměřená hodnota																			
(Smrk)	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	
Skutečná hodnota																			
Dub bílý	7.2	8.0	8.8	9.6	10.5	11.5	12.4	13.5	14.5	15.6	16.5	17.3	18.3	19.3	20.2	21.2	22.1	23.1	
Buk	6.7	7.4	8.1	9.0	10.0	11.0	12.2	13.2	14.0	14.7	15.4	16.3	17.1	17.8	18.8	20.3	22.0	23.9	
Jedle bílá	8.8	9.7	10.6	11.4	12.3	13.1	14.1	15.1	16.2	17.3	18.1	19.1	20.0	21.1	22.1	23.0	24.0	24.8	
Jasan bílý	7.6	8.2	9.0	9.8	10.7	11.5	12.4	13.2	13.9	14.7	15.6	16.4	17.2	17.9	18.7	19.5	20.3	20.9	
Lipa	7.5	7.9	8.8	9.5	10.3	11.1	12.0	13.1	14.0	14.9	15.9	16.9	17.8	18.7	19.6	20.6	21.5	22.2	
Bříza	8.9	9.8	10.6	11.6	12.5	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.5	20.5	21.6	22.6	23.6	24.6	25.7	
Mahagon	8.2	9.2	10.3	11.3	12.3	13.2	14.0	14.8	15.7	16.5	17.2	18.1	18.8	19.5	20.2	20.9	21.7	22.3	
Javor	8.8	9.5	10.0	10.8	11.7	12.5	13.4	14.3	15.2	16.1	17.1	18.2	19.2	20.3	21.2	22.4	23.7	24.6	
Vlašský ořech	8.5	9.4	10.3	11.2	12.1	13.0	13.9	14.8	15.7	16.5	17.3	18.3	19.2	20.1	20.9	21.8	22.7	23.3	
Borovice	8.6	9.6	10.7	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.7	19.7	20.6	21.5	22.4	23.3	24.1	24.9	
Jilm americký	7.6	8.1	8.7	9.1	9.8	10.4	11.0	11.7	12.5	13.4	14.1	14.9	15.6	16.3	17.0	17.7	18.6	19.0	
Modřín	8.7	9.7	10.8	11.8	12.7	13.6	14.6	15.6	16.5	17.5	18.4	19.4	20.4	21.3	22.1	23.1	23.9	24.8	
Olše	8.9	9.9	10.8	11.8	12.9	13.8	14.8	15.8	16.9	18.0	18.8	19.8	20.9	22.0	22.9	23.8	24.7	25.6	
Topol	8.4	9.5	10.6	11.6	12.7	13.8	14.8	15.9	17.0	17.9	18.7	19.7	20.7	21.6	22.6	23.6	24.7	25.9	

Zdroj: [17]

Naměřená hodnota	Pórobeton	Beton 200 kg/m³	Beton 350 kg/m³	Beton 500 kg/m³	Vápenná malta	Cementní malta	Sádra	Sádrová omítka	Sádrová síťka	Heraklit	Cedrá desky	Síťka BRALEP ZL 970	Síťka BRALEP MIX	Síťka THOMASIT DX	Síťka THOMASIT DD	Síťka THOMASIT DH	XYLOLIT	STYROPOR	ANHYDRID poťer AE, AFE	Elastický poťer	Cementový poťer
8,0	2,2					1,0				11,2	4,8	1,6	1,6	1,4	1,6	1,4	10,9	6,5		0,4	0,9
10,0	2,5			1,5	0,6						5,4	2,0	2,0	1,7	2,0	1,7	11,0	7,5		0,5	1,0
12,0	2,7	0,8			0,7	1,1			0,4	11,3	5,9	2,4	2,4	2,0	2,4	2,0	11,1	7,9			
14,0	3,0					1,2	0,3			11,4	6,5	2,8	2,8	2,3	2,8	2,3	11,2	9,5			
16,0	3,3		1,1		0,8	1,3	0,5	0,3			8,0	3,2	3,1	2,5	3,2	2,5	11,4	12,0		1,0	
18,0	3,7	0,9	1,2		0,9	1,4	0,7	0,5		11,5	8,7	3,6	3,5	2,7	3,6	2,7	11,5	13,2	0,2		1,3
20,0	4,0			1,6	1,0	1,5	1,0	0,8		11,6	10,2	4,0	3,8	3,0	4,0	3,0	11,6	16,0			
22,0	4,5		1,3		1,1	1,6	1,1	1,0	0,5	11,7	11,0	4,4	4,2	3,3	4,4	3,3	11,7			1,5	1,5
24,0	5,0				1,2	1,7	1,2	1,2		11,8	12,0	4,8	4,6	3,6	4,8	3,6	11,8	18,5			
26,0	5,5	1,0	1,4	1,7	1,3	1,8	1,5	1,4		11,9	12,8	5,2	5,0	3,9	5,2	3,9	11,9	21,0		2,0	
28,0	6,0		1,5		1,4	1,9	1,7	1,8		12,0	13,4	5,6	5,4	4,3	5,6	4,3	12,0	23,0			1,6
30,0	6,5				1,5	2,0	1,9	2,0	0,7	12,2	14,2	6,0	5,7	4,6	6,0	4,6	12,1			2,5	
32,0	7,0	1,1	1,6	1,8	1,6	2,1	2,1	2,1		12,3	14,8	6,4	6,1	4,9	6,4	4,9	12,2		0,3		1,7
34,0	7,5				1,7	2,2	2,4	2,4		12,4	15,5	6,8	6,5	5,2	6,8	5,2	12,4	25,0			
36,0	8,0				1,8	2,3	2,6	2,6	1,0	12,5	16,3	7,2	6,9	5,5	7,2	5,5	12,5			2,8	1,9
38,0	8,5			1,9	2,0	2,4	2,9	2,8		12,6	17,0	7,6	7,3	5,7	7,6	5,7	12,6			3,3	2,0
40,0	9,0				2,1	2,5	3,1	3,0		12,7	17,5	8,0	7,8	6,0	8,0	6,0					
42,0	9,5	1,2	1,7	2,0	2,3	2,6	3,4	3,4	1,3	12,8	18,0	8,4	8,0	6,3	8,4	6,3	12,7		0,5	4,0	2,1
44,0	10,0				2,4	2,7	3,7	3,8		12,9	18,7	8,8	8,4	6,7	8,8	6,7				4,2	
46,0	10,5				2,5	2,8	3,9	4,1		13,0	19,3	9,2	8,8	7,0	9,2	7,0	13,0			4,4	
48,0	11,0	1,3	1,8		2,7	2,8	4,1	4,5	1,5	13,1	20,0	9,6	9,3	7,4	9,6	7,4				4,6	2,3
50,0	11,5				2,8	2,9	4,3	4,8		13,2	20,5	10,0	9,8	7,7	10,0	7,7	13,3		0,8	4,9	
52,0	12,0			2,1	3,0	3,0	4,6	5,0		13,3	21,0	10,4	10,1	8,0	10,4	8,0				5,1	
54,0	12,5	1,4	1,9		3,2	3,1	4,9	5,3		13,4	21,5	10,8	10,5	8,3	10,8	8,3	13,5			5,3	
56,0	13,0				3,4	3,2	5,1	5,8		13,5	22,0	11,2	10,9	8,6	11,2	8,6				5,5	2,4
58,0	14,0				3,7		5,4	6,0	2,0	13,6	22,5	11,6	11,3	8,8	11,6	8,8	14,0		1,1	5,7	
60,0	15,0	1,5	2,0	2,2	3,9	3,3	5,7	6,5	2,3	13,7	23,0	12,0	11,6	9,1	12,0	9,1	14,2			6,2	
65,0	17,0	1,6	2,1	2,3	4,7	3,5	6,6	7,0		14,0	23,4	13,0	12,5	9,9	13,0	9,9	14,4		1,3	6,4	
70,0	19,5	1,8	2,2	2,4	6,9	4,0	8,9	8,7	2,5	14,8	23,7	14,0	13,4	10,8	14,0	10,8	14,9		1,7	6,9	2,5
75,0	24,0	1,9	2,4	2,5	11,4	4,6	11,1	11,0	3,0	15,5	24,0	15,0		12,1	15,0	12,1	15,5		2,1	7,5	

Údaje uvedené v tabulce jsou ve váhových procentech.

Příklad: Při měření pórobetonu přístroj zobrazí 40%. Skutečná vlhkost je 9,0 %, to znamená že 100 kg zcela suchého pórobetonu obsahuje 9,0 kg vody. Celkem tedy 109,0kg. Hodnoty v zeleném poli je možné považovat za vyhovující.

Uvedené hodnoty jsou pouze orientační a tudíž bez záruky.

Zdroj: [18]